

Završni rad

Dario Cmrečnjak



**Sveučilište  
Sjever**

**Završni rad br. 267/TGL/2015**

# **Modeli radnih ciklusa visokoregalnih automatiziranih skladišnih sustava**

**CMREČNJAK, 4623/601**

Varaždin, rujan 2015. Godine



**Tehnička i Gospodarska logistika**

**Završni rad br. 267/TGL/2015**

# **Modeli radnih ciklusa visokoregalnih automatiziranih skladišnih sustava**

---

**Student: Dario Cmrečnjak**

**CMREČNJAK, 4623/601**

**Mentor:**

**Dr.sc.Goran Đukić, dipl.ing.**

Varaždin, rujan 2015. godine

## I. Sadržaj:

- I. SADRŽAJ
- II. POPIS SLIKA
- III. POPIS TABLICA, GRAFOVA I FORMULA
- IV. POPIS OZNAKA
- V. SAŽETAK

<b>1.Uvod.....</b>	<b>1</b>
<b>2. Logistika i skladištenje.....</b>	<b>2</b>
2.1. Pojam logistike.....	2
2.2. Značaj logistike.....	2
2.3. Područja skladištenja kao logističke funkcije.....	2
2.3.1. Skladištenje.....	2
2.3.1.1. Skladište.....	3
2.3.1.2. Vrste skladišta.....	3
<b>3. Značaj i izvedbe automtiziranih skladišnih sustava.....</b>	<b>9</b>
3.1. Definicija i Značaj automatiziranih skladišnih sustava.....	9
3.2. Podjela automatiziranih skladišnih sustava.....	10
3.2.1. Karuseli, VLM.....	10
3.2.2. Sustavi s dizalicom unutar prolaza.....	13
3.2.3. Varijacije izvedbi.....	15
<b>4. Radni ciklusi dizalice automatiziranog visokoregalnog skladišta.....</b>	<b>20</b>
4.1. Jednostruki (jednostavni) ciklus.....	20
4.2. Dvostruki (složeni) ciklus.....	21

4.3. Modeli računanja radnog ciklusa AS/RS dizalice.....	22
4.3.1. Model MHI.....	22
4.3.2. Model FEM 9.851.....	25
4.3.3. Model Bozer/White.....	26
<b>5. Softverski paket ExASRS v2..0.....</b>	<b>28</b>
5.1. Unos parametara.....	29
5.2. Izlazni parametri.....	33
5.2.1. Osnovni rezultati.....	33
5.2.2. Detaljniji rezultati.....	34
5.3. Povijest rezultata.....	39
<b>6. Ilustracija softvera za, uz softverski paket priloženi primjer (case study).....</b>	<b>41</b>
6.1. Opis.....	41
6.2. Rješenje korištenjem ExASRS v2.0.....	42
<b>7. Analiza razlike između pojedinih modela radnih ciklusa.....</b>	<b>44</b>
<b>8. Zaključak.....</b>	<b>47</b>
<b>9. Literatura.....</b>	<b>48</b>

## II. POPIS SLIKA:

Slika 1. Podno skladištenje.....	4
Slika 2. Regalno skladištenje.....	4
Slika 3. Polični regal.....	5
Slika 4. Prolazni regal (Ulaz s jedne strane).....	5
Slika 5. Prolazni regal (Ulaz s obje strane).....	6
Slika 6. Protočni regal.....	6
Slika 7. Protočni regal s guranjem.....	7
Slika 8. Protočni regal za kutije.....	7
Slika 9. Konzolni regal.....	7
Slika 10. Prijevozni regal.....	8
Slika 11. Horizontalni karusel.....	10
Slika 12. Vertikalni karusel.....	11
Slika 13 Vertikalni podizni modul.....	12
Slika 14. Automatizirano regalno skladište.....	14
Slika 15. Automatizirano skladište za male dijelove.....	14
Slika 16. Automatizirano skladište za komisioniranje.....	15
Slika 17. Prolaz jednostruke širine.....	16
Slika 18. Prolaz jednostruke širine ,regal dvostruke dubine.....	16
Slika 19. Prolaz dvostruke širine, regal dvostruke dubine.....	17
Slika 20. Regal s protočnim trakom.....	17
Slika 21. Duboka traka s vozilom na dizalici.....	18
Slika 22. Dizalica s jednostrukom prihvatnom stanicom.....	18

Slika 23. Dizalica s višestrukom prihvatnom stanicom.....	19
Slika 24. Transfer vozilo za prebacivanje dizalica između prolaza.....	19
Slika 25. Prikaz kretanja S/R dizalice u jednostrukom ciklusu.....	20
Slika 26. Prikaz kretanja S/R dizalice u dvostrukom ciklusu.....	21
Slika 27. Metoda izračunavanja jednostrukog radnog ciklusa MHI modelom.....	23
Slika 28. Metoda izračunavanja dvostrukog radnog ciklusa MHI modelom.....	24
Slika 29. Model FEM 9.851.....	25
Slika 30. Unos parametra.....	29
Slika 31. Kalkulator.....	30
Slika 32. Dugmadi.....	32
Slika 33. Skica visokoregalnog automatiziranog skladišta.....	34
Slika 34. Analiza osjetljivosti.....	36
Slika 35. Raspon propusnosti, te cijene dizalice i skladišne lokacije.....	38
Slika 36. Analiza osjetljivosti.....	38
Slika 37. Sve analize osjetljivosti .....	39
Slika 38. Ldc „LL Bean“.....	41
Slika 39. Unos parametra (case study).....	42

### III. POPIS TABLICA:

Tablica 1. Prikaz osnovnih rezultata.....	33
Tablica 2. Prikaz detaljnijih rezultata.....	34
Tablica 3. Tablica rezultata.....	40
Tablica 4. Podaci po regalima.....	43
Tablica 5. Odnos troškova,vremena i br. mjesta.....	43
Tablica 6. Prikaz skladišnih kapaciteta i oblika u SI sustavu.....	44
Tablica 7. Prikaz rezultata za jednostruki radni ciklus.....	44
Tablica 8. Prikaz rezultata za dvostruki radni ciklus.....	45

### POPIS GRAFOVA:

Graf 1. Grafički prikaz rezultata za jednostruki radni ciklus.....	46
Graf 2. Grafički prikaz za dvostruki radni ciklus.....	46

### POPIS FORMULA:

(1) Prosječno vrijeme trajanja ciklusa.....	21
(2) Prosječno vrijeme vožnje u regalu između pretovarne stanice i lokacije u regalu.....	21
(3) Proračun trajanja dvostrukog ciklusa.....	22
(4) Vrijeme vožnje do lokacije za skladištenje tereta na polovici dužine i polovici visine regala.....	23
(5) Ukupno vrijeme jednostrukog ciklusa.....	23
(6) Ukupno vrijeme složenog ciklusa.....	26
(7) Jednostruka prihvatna stanica s jednostrukim ciklusom.....	27
(8) Jednostruka prihvatna stanica s dvostrukim ciklusom.....	27

## IV. POPIS OZNAKA

Oznaka:	Jedinica:	Opis:
L	m	Duljina regala
H	m	Visina regala
$v_x$	m/s	Brzina kretanja dizalice u horizontalnom smjeru
$v_y$	m/s	Brzina kretanja dizalice u vertikalnom smjeru
T	s	$\max(L/v_x, H/v_y)$
Q	-	Faktor oblika regala $Q = (L/v_x \cdot T, H/v_y \cdot T)$
$t_{jc}$	s	Trajanje jednostrukog ciklusa
$t_{dc}$	s	Trajanje dvostrukog ciklusa
$t_v$	s	Trajanje vožnje u regalu između pretovarne stanice i skladišne lokacije
$t_k$	s	Vrijeme komisioniranja
E(SC)	s	Trajanje vožnje u regalu između pretovarne stanice i skladišne lokacije
E(TB)	s	Trajanje vožnje između dviju lokacija u regalu



## V. SAŽETAK:

U ovom radu prikazani su modeli radnih ciklusa automatiziranih skladišnih sustava. Spomenuti su tzv. (Model MHI, model FEM 9.851, te model Bozer/White. U prvom djelu prikazana je podjela automatiziranih skladišnih sustava te njihov opis.

Objašnjeni su razlozi zašto graditi ovakve cikluse, tj. navedeni su neki od ciljeva njihove gradnje. U nastavku je objašnjeno djelovanje softverskog paketa ExASRS v2.0 koji se koristi za proračun vremena radnih ciklusa s uključenom promjenom brzine. Dan je pregled ulaznih i izlaznih parametara te kratke upute za korištenje navedenog paketa. Na kraju rada prezentirani su modeli određivanja jednostavnih i složenih radnih ciklusa, te je napravljena analiza modela radnih ciklusa automatiziranih visokoregalnih skladišta.

## 1. Uvod

U logističkom poslovanju nude se različite izvedbe podnih i regalnih skladišta. Velika je stvar da se roba dopremi u najkraćem mogućem roku i uz minimalne pogreške, pa se u današnje vrijeme sve više teži automatizaciji, te informatizaciji a tu se kao takvi pojavljuju automatizirani skladišni sustavi.

Automatizirani skladišni sustavi koriste se za što pouzdanije odlaganje, izuzimanje, te prijenos materijala, poluproizvoda i proizvoda. U svojoj namjeni moraju biti što efikasniji. Njihovim uvođenjem trebala bi se povećati produktivnost, a smanjiti troškovi izgradnje, rada, održavanje i energije. Također kod automatiziranih regala tipična je velika brzina rada i točnost kod manipulacije robom i posluživanju regala. U radu je u poglavlju 4, nakon uvodnih poglavlja o logistici i skladištenju općenito, prikazana podjela automatiziranih skladišnih sustava. Popraćena objašnjenjem njihova načina rada i značaja u logistici skladištenja.

Važna stavka u procesu oblikovanja automatiziranih skladišnih sustava je određivanje vremena radnih ciklusa dizalice, pa su navedena tri osnovna modela (MHI, FEM 9.851 i Bozer/White). Za proračun se može koristiti i dostupan softver napravljen u Excelu pod nazivom ExASRS v2.0. Bitna razlika između modela i softvera jest zanemarivanje realnih ubrzanja i usporenja dizalice, što dakako rezultira i kraćim procijenjenim (izračunatim) vremenima radnih ciklusa modelima u odnosu na softver.

Objašnjenje radnih ciklusa, te modeli njihovih izračuna dani su u poglavlju 4. Spomenuti softver, sa ilustracijom korištenja na jednom konkretnom primjeru, prikazani su u poglavljima 5. i 6.

Svi spomenuti modeli određivanja radnih ciklusa baziraju se na određenim pretpostavkama i pojednostavljenima, što dakako rezultira i određenom greškom i različitim rezultatima. Iz tog razloga je na kraju rada, u poglavlju 7, provedena analiza tih razlika. Za analizu modela odabrana su četiri skladišta različitih dimenzija i kapaciteta, te napravljeni grafovi sa dobivenim rezultatima.

## **2. Logistika i skladištenje**

### **2.1. Pojam logistike**

Pojam logistika potječe iz grčke riječi „logistikos“, što znači biti vješt i iskusan u računanju, vođenju rata, u opskrbi vojske i vojnih formacija na terenu, pa je s time naziv logistika preuzet iz vojnog nazivlja.

Kao i za svaki pojam, za logistiku je karakteristično više definicija, pa danas pod tim pojmom podrazumijevamo upravljanje tokovima i pohranom materijala. Dakle, sve aktivnosti koje uključuju premještanje sirovina, poluproizvoda, reproduksijskog materijala i gotovih proizvoda od prvog proizvođača do krajnjeg potrošača.

Definicija logistike koju je prihvatilo Vijeće Europe glasi:

“Logistika bi se mogla definirati kao upravljanje tokovima robe i sirovina, procesima izrade, završenih proizvoda i pridruženim informacijama od točke izvora do krajnje uporabe u skladu s potrebama kupca. U širem smislu logistika uključuje povrat i raspolaganje otpadnim tvarima.”[2]

### **2.2. Značaj logistike**

Posljednjih dvadesetak godina logistika se razvila i afirmirala više nego prethodnih stotinjak godina. Time ona postaje važan čimbenik u gospodarstvu neke države.

Značaj logistike poduzeća je taj što su se ona sama uvjerila da primjenom logističkih metoda i načela dolazi do smanjenja troškova što u konačnici znači i povećanje profita za njih.

### **2.3. Područja skladištenja kao logističke funkcije**

#### **2.3.1. Skladištenje**

Skladištenje robe jedna je od najvažnijih aktivnosti kojima se bave logističari, te im ista aktivnost oduzima najviše vremena i zadaje najviše problema. Skladištenje robe vrlo je odgovoran zadatak jer nepravilnim skladištenjem se upropaštava roba, povećavaju troškovi poslovanja, mogući su problemi sa raznim inspekcijama. Za vrijeme uskladištenja može doći do različitih gubitaka. Uzroci gubitaka mogu biti u prirodi robe( roba koja gubi vlagu, lako topljiva ili hlapljiva roba) , uvjetima

uskladištenja, nesavjesnom ili neispravnom manipuliranju robom i sl. Ako se roba pravilno uskladišti, čuva se od nepovoljnih utjecaja, gubitaka, kvarenja.

#### **2.3.1.1. Skladište**

Skladište su izgrađeni objekti ili pripremljeni prostori za smještaj i čuvanje robe od trenutka preuzimanja do vremena njihove upotrebe i otpreme. To je ujedno i mjesto na kojem su pohranjene zalihe uređeno i opremljeno za privremeno i sigurno odlaganje, čuvanje, pripremu i izdavanje materijala.[2]

Cilj skladištenja: prostorno i vremensko uravnoteženje tokova materijala.

Komponente skladišta. Objekti, sredstva za skladištenje, sredstva za odlaganje, transportna sredstva, pomoćna skladišna oprema, dodatna skladišna oprema.

U skladištu nalazimo 4 osnovne zone a to su: skladišna zona, prijemna zona, zona komisioniranja, te predajna zona. Također, u skladištu postoje 4 osnovna potprocesa a to su redom: prijem, uskladištenje, komisioniranje, izdavanje.[1]

#### **2.3.1.2. Vrste skladišta**

a) Podna skladišta

b) Regalna skladišta

**Podna skladišta:** Glavna im je značajka da nemaju regale za smještaj materijala.

Materijal se odlaže:

a) Sipki: slobodnim nasipavanjem i gomilanjem.

b) Komadni: Slobodnim odlaganjem bez unaprijed određenog rasporeda, slaganjem jedinica u blokove ili redove.

Kod podnih skladišta bitno je osigurati izravan zahvat na podu određenog materijala ili JS pomoću mehaničkih uređaja.

Prednosti podnih skladišta: Manji investicijski troškovi, manji troškovi skladištenja za manje protoke materijala, te za komadni materijal većih izmjera i težina. Radi povećanja iskoristivosti podnih skladišta primjenjuje se naslagivanje.

Podno blok skladištenje: Skladištenje u blokove koristi se u slučaju manjeg asortimana, te veće količine istovrsne JS. Nije moguć izravan pristup svakoj JS, ali je moguć svakoj vrsti JS. Iskoristivost je i preko 50%.

Podno skladištenje u redove: Skladištenje u redove koristi se u slučaju većeg asortimana, a manjih količina po vrsti JS. U ovom slučaju moguć je izravan pristup svakoj jedinici skladištenja. Iskoristivost je 20 do 30%. [1]



Slika 1. Podno skladištenje

### **Regalna skladišta:**

#### **(Klasični paletni regali)**

Kod paletnih regala materijal se odlaže uz primjenu posebne opreme (paleta) i obavezno pomoću transportnog sredstva (viličara).

Paletni regali najčešće su postavljeni u redove, s odlaganjem jedne palete po dubini. Time je osiguran izravan pristup svakoj jedinici skladištenja. Moguće je poprečno i podužno odlaganje. Iskoristivosti skladišne površine iznosi 30-40%, uz moguću iskoristivost skladišnih lokacija do 100%. Najčešće 6-7.5 m i do 12(15) m. [1]



Slika 2. Regalno skladištenje

### **Paletni regali dvostruke dubine**

Nedostaci 20%

Prednosti 60%

Prednost ovog načina skladištenja je direktan pristup svakoj paleti, preglednost paleta, niski investicijski troškovi.

### **Polični regali**

Imaju široku primjenu kod skladištenja robe koja se odlaže ručno za različite namjene, u opremanju skladišta, arhiva, uredskih, trgovinskih i ostalih prostora.. Polični regali se izrađuju serijski za nosivosti od 50-300 kg po polici. Odlikuju se jednostavnom montažom te mogućnošću različitih kombinacija pri skladištenju.

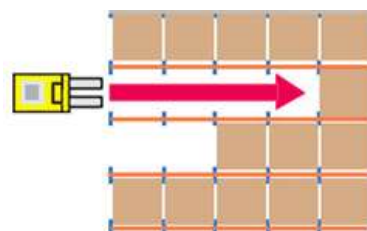


Slika 3. Polični regali

### **Prolazni regali**

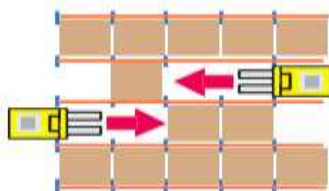
Stranice regala su raspoređene tako da oblikuju mjesta za odlaganje i slobodne prolaze transportnom sredstvu koje rukuje jediničnim teretima.

Duljine regala su do 8-10 jedinica skladištenja po dubini.



Slika. 4 Prolazni regal ( Ulaz s jedne strane)

Iskoristivost skladišne površine je oko 75%, no popunjenost skladišnih lokacija kreće se oko 60%. Postoje regali s ulazom s jedne ili s obje strane. Prolazni regali s obje strane imaju dva puta više linija i manja je iskoristivost prostora. Možemo osigurati FIFO (first in, first out) koja se najviše traži.



Slika 5. Prolazni regal (ulaz s obje strane)

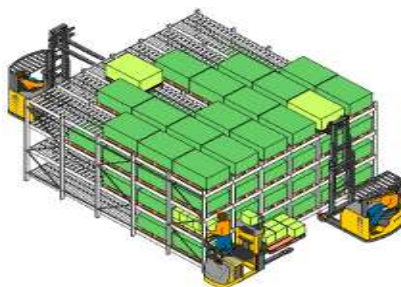
### Protočni regali

Protočnim regalima ostvaruje se dinamičko skladištenje komadnog materijala, kao jediničnog tereta na paletama, u sanducima, kutijama ... Ova skladišta su pogodna za odlaganje istovrsnog komadnog materijala većih količina

Rukovanje materijalom ostvaruje se po principu FIFO. Izraz dinamičko skladištenje je zbog kretanja materijala u takvom regalu, a može biti izvedeno:

- voznom stazom bez pogona korištenjem sile teže - gravitacijski regali (kut nagiba 1-5%)
- voznom stazom s pogonom - staza vodoravno postavljena, kretanje materijala brzinom 0,3 m/s pomoću sredstava neprekidnog transporta toka (valjčane, lančane ili trakaste staze ili pruge), odnosno sredstvima prekinutog transporta posebno izvedenim vozilima koja se kreću ispod jediničnog tereta.

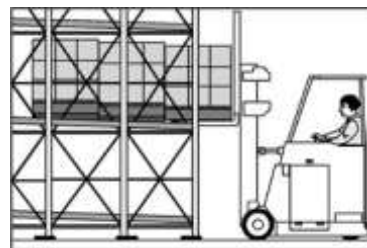
Iskoristivost skladišne površine oko 75%, a popunjenost skladišnih lokacija oko 70%.



Slika 6. Protočni regal

### Protočni regali s guranjem

To su regali sa voznim stazama (valjčani konvejer ili nosači s kotačićima) pod kutem. Moguće ostvariti isključivo LIFO princip skladištenja. Dubina je od 2 do 5 JS. Zbog manje dubine relativno je velika dostupnost te dobra iskorisitivost površine.



Slika 7. Protočni regal s guranjem

### Protočni regali za kutije

S jedne strane skladištimo s druge izdajemo. Primjenjuje se FIFO sustav.



Slika 8. Protočni regal za kutije

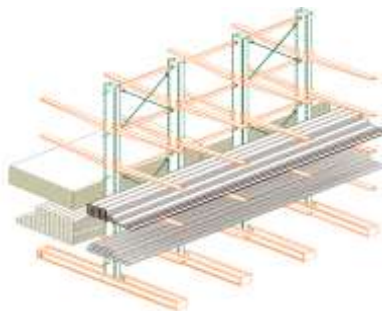
### Konzolni regali

Primjenjuju se u industrijskim poduzećima za odlaganje komadnog materijala kao npr. šipke, cijevi, profili i sl. Regali su visine do 8 m, duljine konzolnih nosača do 3 metra.

Postavljaju se najčešće u redove, te mogu biti dvostruki i jednostruki. Jednostruki konzolni regali obično se postavljaju uz zid objekta.

Najčešća sredstva za rukovanje komadnim materijalom u konzolnim regalima su podni viličari i granič-

viličari.



Slika 9. Konzolni regal



## Prijevozni regali

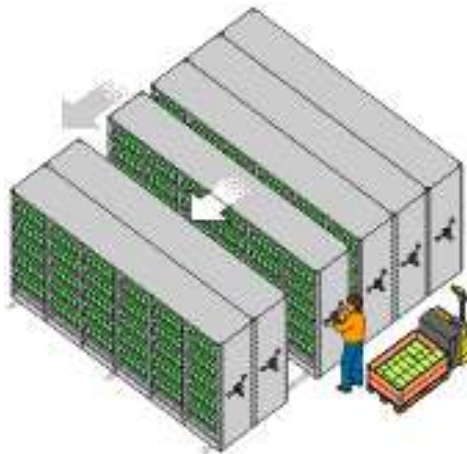
Koriste se za skladištenje komadnog materijala, naročito ako je manja učestalost ulaz-izlaz, budući da treba više vremena za izravan pristup materijalu.

Izvedba prijevoznih regala istovjetna je paletnim/poličnim regalima, samo što su prijevozni regali postavljeni na pokretna postolja koja čine pravocrtno kretanje.

Prema načinu pomicanja su im i nazivi, razmični i izvlačni.

- a) jedinice regala pomične su u smjeru paralelno s glavnim putom
- b) regali se pomiču poprečno na glavni prolaz.

Iskoristivost skladišne površine oko 85%, pri čemu je moguća iskoristivost skladišnih lokacija i do 100%. Prednosti i nedostaci: veća iskoristivost prolaza, pogon za pomicanje odnosno skupa investicija, ista je dostupnost kao i kod klasičnih, može biti samo jedno prijevozno sredstvo jer imamo samo jedan prolaz.[1]



Slika 10. Prijevozni regal

### **3. Značaj i izvedbe automatiziranih skladišnih sustava**

#### **3.1. Definicija i značaj automatiziranih skladišnih sustava**

Automatizirani skladišni sustavi opremljeni su mehanizmima koji zamjenjuju ljudski rad i optimiziraju radnje u skladištu. Koriste se u distribucijskim centrima, proizvodnim pogonima, te maloprodajnim i veleprodajnim trgovinama. Sve se više koriste takvi sustavi zbog sigurnosti, točnosti pouzdanosti u proizvodnji, te se omogućuju uštede u operativnim troškovima, uštede na vremenu i prostoru.

U užem smislu definicija AS/RS-a iz 1990. glasi da je to sustav regala, kod kojeg svaki red ima svoju jedinicu za odlaganje/izuzimanje koja se kreće vertikalno i horizontalno uzduž regala odlažući i izuzimajući terete.

Prednosti i nedostaci AS/RS-a

Prednosti:

- Povećana iskoristivost skladišnog prostora
- Povećana kontrola zaliha i praćenje zaliha
- Smanjenje troškova ljudskog rada
- Povećanje sigurnosti na radu
- Povećana zaštita materijala
- Točnost operacija

Nedostaci:

- Visoki investicijski troškovi
- Povećani zahtjevi održavanja
- Povećani zahtjevi za tolerancije
- Nefleksibilnost

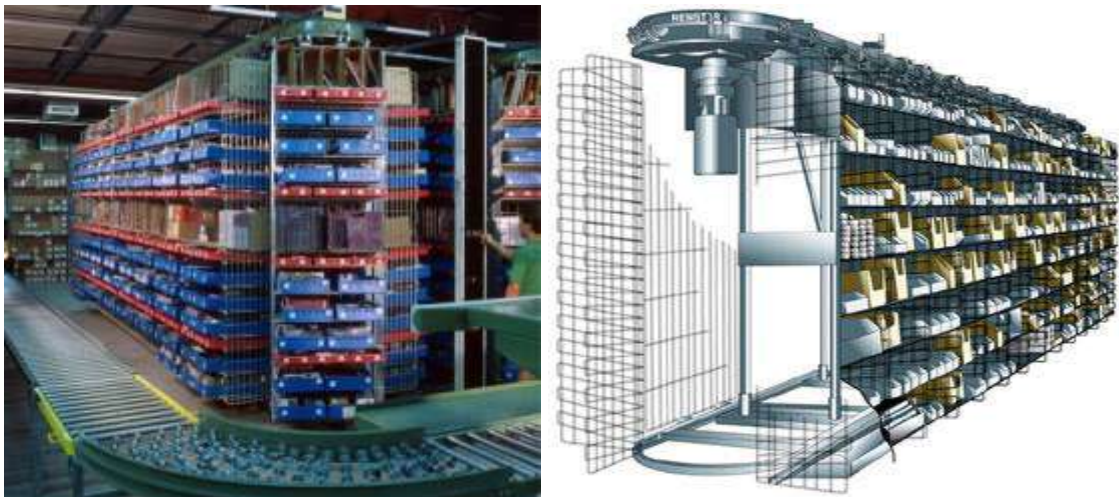
### 3.2. Podjela automatiziranih skladišnih sustava

- Horizontalni karuseli
- Vertikalni karuseli
- VLMS
- Sustav s dizalicom unutar prolaza ( eng. Crane – in – Casle)
- **Unit-load AS/RS**
- **Mini-load AS/RS**
- **micro-load AS/RS**
- **person-on-board AS/RS**

#### 3.2.1. Karuseli

##### Horizontalni karuseli

Horizontalni karusel (optočni/okretni regal) sastoji se od fiksnog broja skladišnih kolona (odjeljaka), mehanički povezanih s pogonskim mehanizmom u zatvorenoj petlji. Sve te kolone podijeljene su na fiksni broj skladišnih lokacija (polica). Kod horizontalnih karusela odlaže se ručno ili automatski. Okret karusela je automatizirani.[1]



Slika 11. Horizontalni karusel

Prednosti ovakvih karusela su:

- Ušteda vremena
- Ušteda prostora
- Prednosti računalnog upravljanja
- Pogodnost izvedbe
- Ergonomija i nadzor

Horizontalni karuseli često su korišteni kao skladišta velike gustoće u prostorima s niskim stropom gdje je korisnicima omogućena ušteda podnog prostora. Horizontalni karusel smatra se samostalnim karuselom te je njegova primjena jednostavna zbog toga što njime upravlja jedna osoba na radnom prostoru. Primjene horizontalnih karusela orijentirane su prvenstveno zaprimanju narudžbi i komisioniranju, ostvarujući visok protok.

### **Vertikalni karuseli**

Vertikalni karuseli sastoje se od fiksnog broja polica koje u zatvorenoj petlji rotiraju u vertikalnoj ravnini. Moguće je također automatsko odlaganje i izuzimanje, no rjeđe nego kod horizontalnih karusela.[1]



Slika 12. Vertikalni karusel

Prednosti vertikalnih karusela su:

- Oslobađanje podnog prostora
- Povećanje produktivnosti
- Poboljšanje ergonomije
- Povećana sigurnost i kontrola rada

U počecima vertikalni karuseli su bili dizajnirani za pohranjivanje laganih stvari kao što su elektroničke komponente, dijelovi i alat u odjelima za održavanje, te dokumenti potrebni za proizvodni proces. Danas također imaju sličnu ulogu u proizvodnim i montažnim odjelima.

### Vertikalni podizni moduli

Vertikalni podizni moduli (Vertical Lift Module) Su takvi skladišni sustavi koji se sastoje od dvije paralelne kolone s fiksnim policama, u kojima su uskladišteni spremnici (kutije ili ladice).[1] Odlaganje i izuzimanje spremnika obavlja automatski uređaj (shuttle/extractor), koji se elevatorom kreće vertikalno između kolona s policama.



Slika 13. Vertikalni podizni modul

VLM se sastoji od tri osnovna, paralelna stupca. Prednji i stražnji stupac namijenjeni su za skladištenje, te su opremljeni držačima koji funkcioniraju kao police za spremnike. Središnjim stupcem kreće se elevator sa napravom za odlaganje i izuzimanje spremnika (inserter/ekstrator).

Prednosti ovakvog skladišnog sustava su:

- Uštede skladišne površine
- Povećanje produktivnosti
- Ergonomičnost
- Sigurnost

### **3.2.2. Sustavi s dizalicom unutar prolaza**

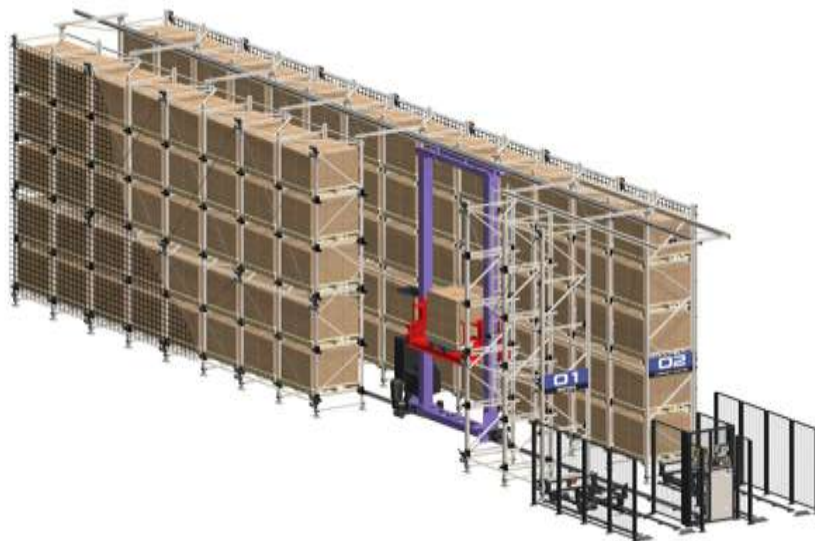
Takvi automatizirani skladišni sustavi sastoje se od jednog ili više dugih i uskih prolaza koji s obje strane imaju čelične regale koji služe za skladištenje i izuzimanje tereta. Dizalica u prolazu se na podnim, tj. Stropnim tračnicama kreće vertikalno i horizontalno između učvršćenih regala kako bi pronašla odgovarajuću lokaciju. Na dizalici se nalazi uređaj za rukovanje teretom koji koristi jednu do tri prihvatne stanice. On skladišti te izuzima teret. Dizalicom se upravlja računalom.

#### **Unit – Load AS/RS ( Automatizirano regalno skladište)**

To je tip sustava automatiziranog odlaganja i izuzimanja za teže/veće terete (250 do 500 kg i više) smještene na paletama ili u plastičnim, drvenim ili metalnim sanducima paletnih dimenzija.[2] Nekim velikim teretima može se također rukovati i bez sredstava za oblikovanje jediničnog tereta, npr. kolutovi limova, papira, kablova itd. Visina ovakvog tipa sustava iznosi 10-50 m. dok duljina prolaza iznosi i do 290 m.[1]

Unit-load- (slika 14), svaki teret kojim se rukuje pojedinačno.





Slika 14. Automatizirano regalno skladište

**Micro-Load AS/RS /Mini-Load AS/RS** (Automatizirano skladište za male dijelove)

Micro-Load AS/RS je takav tip sustava automatiziranog skladišta gdje je ukupna težina tereta manja od 50 kg.[1] Kod takvog se sustava proizvodi skladište u vrlo malim spremnicima. Najčešće su to kutije ili police dok se umjesto uređaja za rukovanje teretom koriste izvlačni sistemi koji uhvate teret za ručke na pladnjevima ili pomoću vakumskih hvatala.[1]

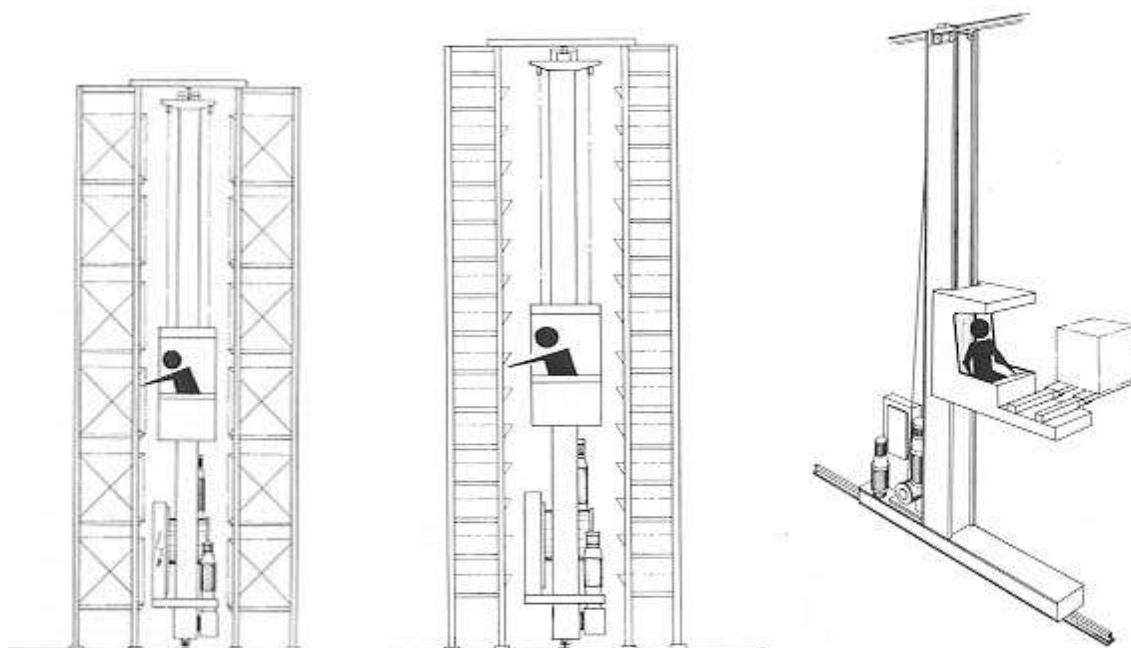


Slika 15. Automatizirano skladište za male dijelove

Mini-Load AS/RS je takav tip sustava automatiziranog skladišta gdje se odlaže i izuzima teret koji je obično u malim spremnicima (kutijama) ili na police čija je širina 25 cm., s ukupnom težinom između 50 i 250 kg (rijetko do 500 kg). Takav sustav najčešće se koristi za pohranu manjih proizvoda, raznih dokumenata itd.

### Person-on-board AS/RS Automatizirano skladište za komisioniranje

To je sustav komisioniranja po principu „čovjek robí“. Poluautomatizirani sustav odlaganja i izuzimanja, s čovjekom na dizalici za ručno uskladištenje i izuzimanje unutar prolaza između visokih poličnih i paletnih regala.[1]

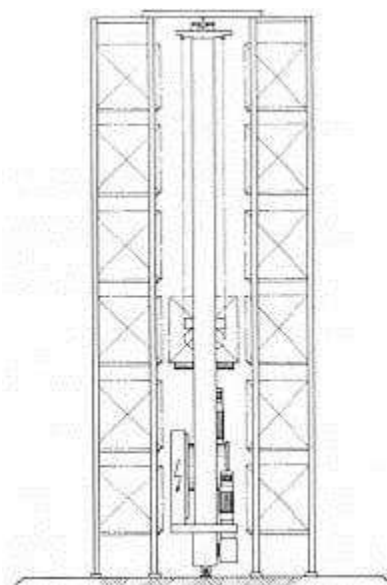


Slika 16. Automatizirano skladište za komisioniranje

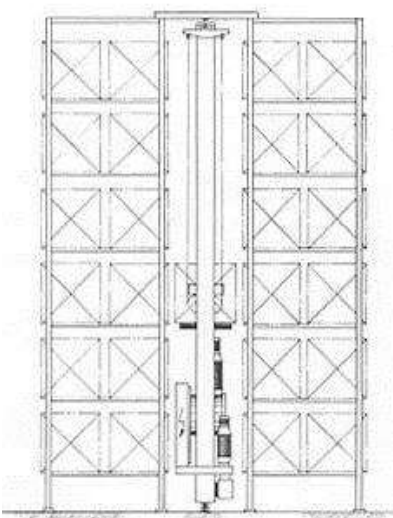
### 3.2.3. Varijacije izvedbi

Postoje različite varijacije izvedbi automatiziranih visokoregalnih skladišta. Osnovni je oblik gdje su prolaz i regal jednostruke širine. On dopušta pristup teretu s obje strane regala, međutim ako postoji potreba za većim kapacitetom postoji regal dvostruke širine.

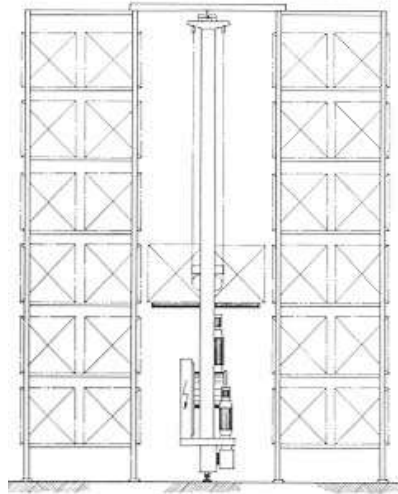




Slika 17. Prolaz jednostruke širine – Regal jednostruke širine  
(eng. Single wide aisle – Single deep rack)

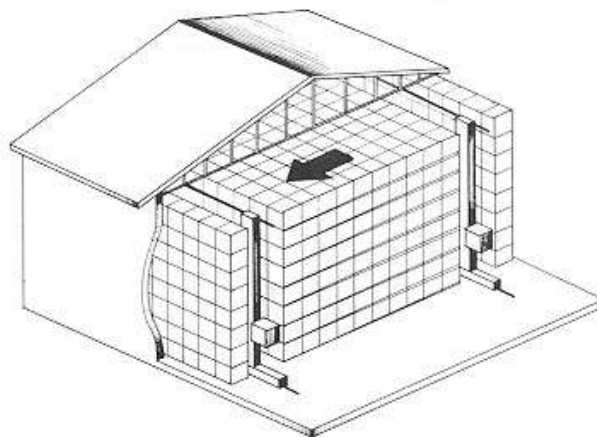


Slika 18. Prolaz jednostruke širine – Regal dvostruke dubine  
(eng. Single wide aisle – Double deep rack)



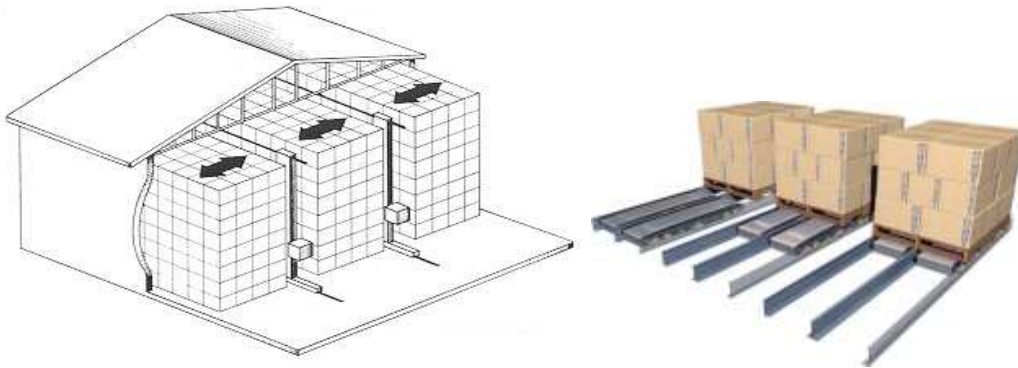
Slika 19. Prolaz dvostruke širine – Regal dvostruke dubine  
(eng. Double wide aisle – Double deep rack)

Regal sa protočnim trakom tj. automatizirano visokoregalno skladište za izuzimanje. Regal se sastoji od dvije dizalice od kojih jedna služi za uskladištenje, a druga za izuzimanje. Protočna traka služi da se na nju odlaže teret, te se djelovanjem sile gravitacije isti teret spušta do strane na kojoj vrši izuzimanje. Nedostatak ovakve izvedbe je što jedna dizalica ne može u istom ciklusu izvršiti uskladištenje i izuzimanje. Postoji i nemogućnost izvršavanja radnog naloga u slučaju kvara jedne od dizalica.



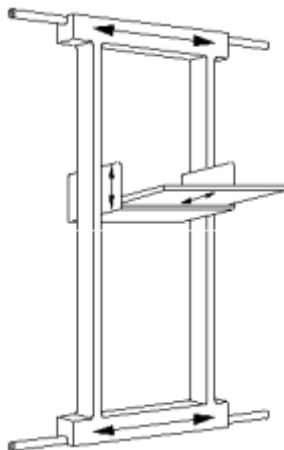
Slika 20. Regal s protočnim trakom  
(eng. Deep lane with flow rack)

Kod regala s dubokim trakama koristi se vozilo na dizalici koje ulazi u duboku traku gdje izuzima ili odlaže teret.

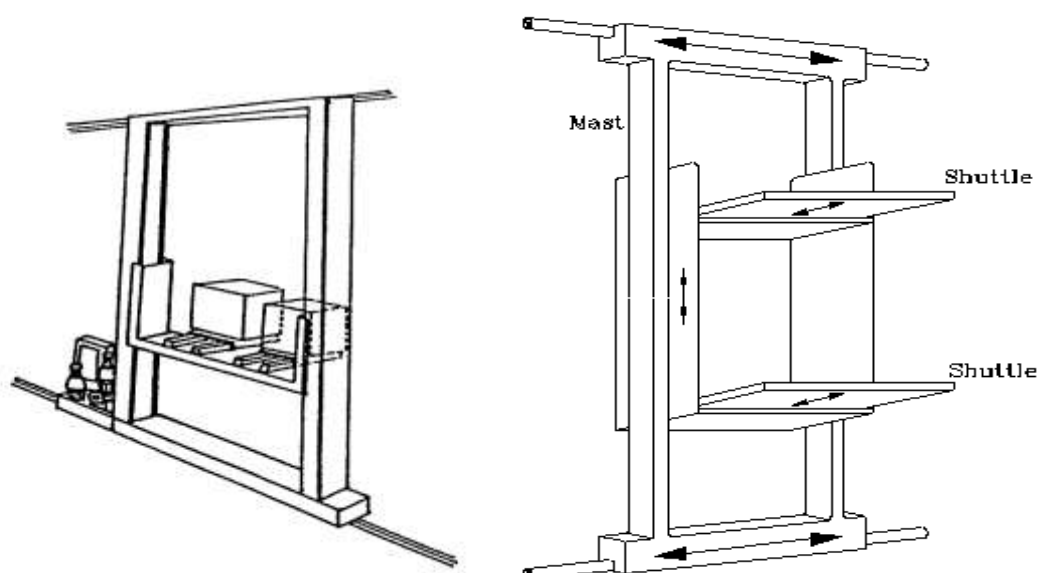


Slika 21. Duboka traka s vozilom na dizalici  
(eng. Deep lane with shuttle car)

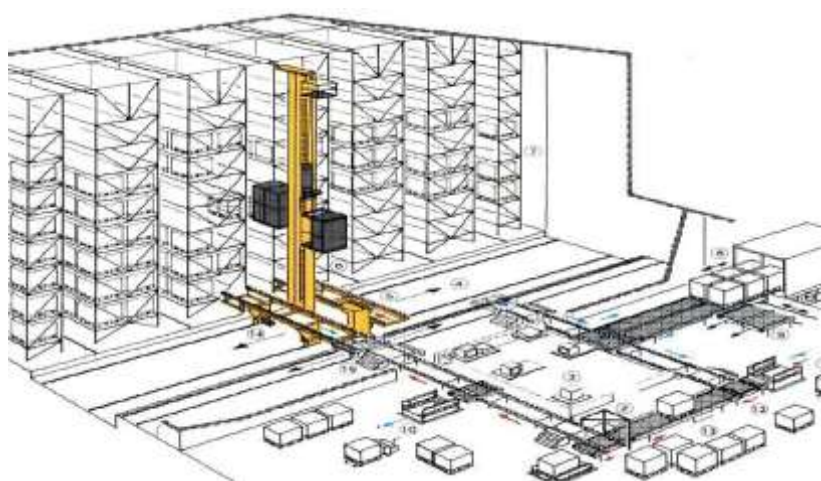
Dizalice se sastoje od jedne ili više prihvatnih stanica a u većini slučajeva se koriste s jednom, dvije ili tri. Dizalica s jednom prihvatnom stanicom može napraviti jednostruki ili dvostruki ciklus, dok dizalice s višestrukim prihvatnim stanicama mogu napraviti i šesterostruki ciklus.



Slika 22. Dizalica s jednostrukom prihvatnom stanicom  
(eng. Single – shuttle S/R machine)



Slika 23. Dizalica s višestrukom prihvatnom stanicom  
eng. Multi – shuttle S/R machine



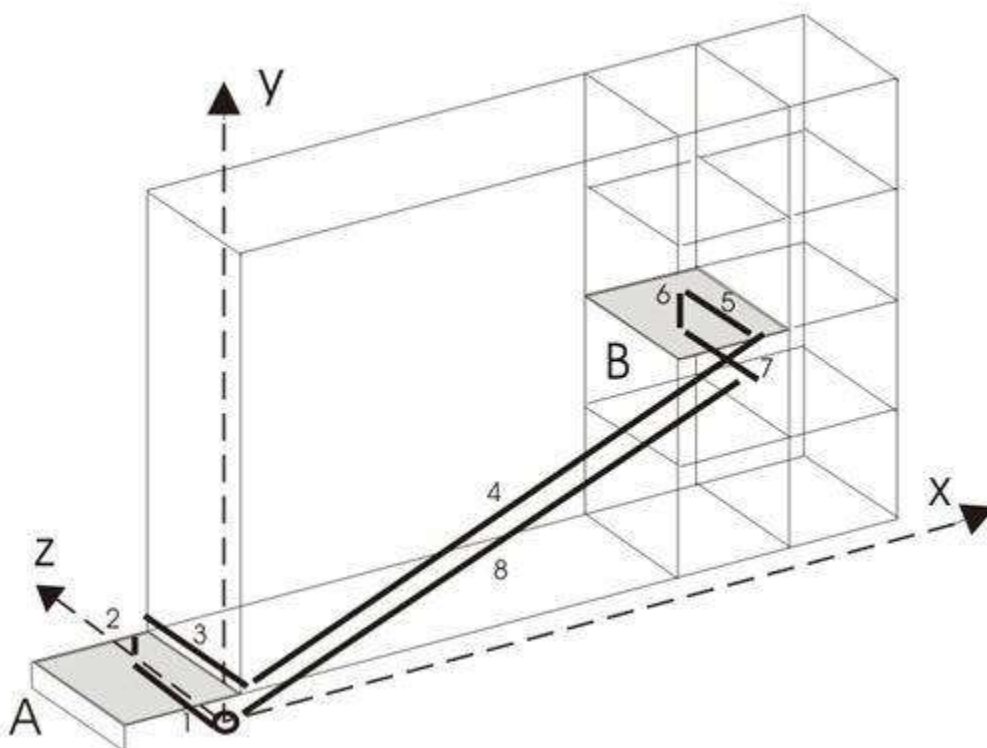
Slika 24. Transfer vozilo za prebacivanje dizalica između prolaza

## 4. Radni ciklusi dizalice automatiziranog visokoregalnog skladišta

Kod oblikovanja automatiziranih visokoregalnih skladišta potrebno je izračunati radne cikluse dizalice kojima je svrha minimizirati broj prolaza. Prilikom računanja radnih ciklusa dolazimo do određenih ograničenja kao što su: protok ( $q$ ) i kapacitet ( $Q$ ). Za izračun koristimo nekoliko modela. U nastavku su detaljnije prikazani model: MHI, FEM 9.851 i Bozer/White model. Radni ciklusi automatiziranih visokoregalnih skladišta mogu biti jednostavni i složeni.

### 4.1. Jednostruki (jednostavni) ciklus (eng. Single command sc)

Kod jednostrukog ciklusa dizalica obavlja samo jedno izuzimanje, te jedno uskladištenje.



Slika 25. Prikaz kretanja S/R dizalice u jednostrukom ciklusu

Proračun trajanja jednostrukog ciklusa:

Prosječno vrijeme trajanja jednostrukog ciklusa  $t_{jc}$

$$t_{jc} = E(SC) + 2 * t_k \quad (1)$$

Prosječno vrijeme vožnje u regalu između pretovarne stanice i lokacije u regalu:

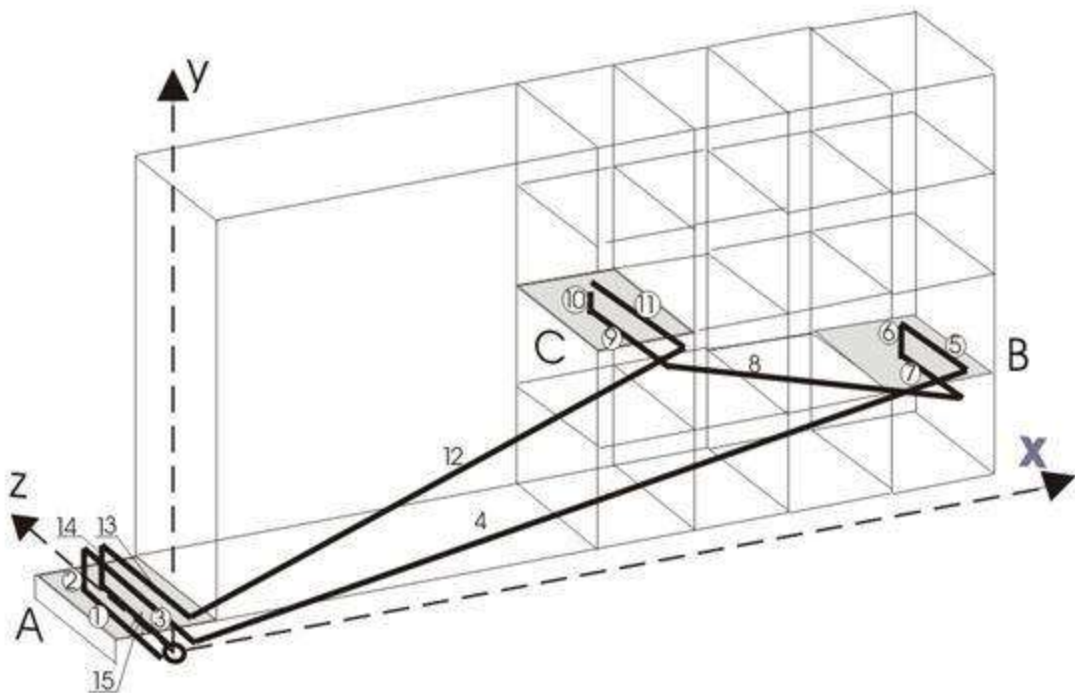
$$E(SC) = (1 + Q^2/3) * T \quad (2)$$

Izraz koji objašnjava trajanje jednostrukog ciklusa

$$t_{jc} = (1 + Q^2/3) * T + 2 * t$$

#### 4.2. Dvostruki (složeni) ciklus (eng. dual command dc)

Ovaj radni ciklus podrazumijeva jedno uskladištenje, te jedno izuzimanje iz regala.



Slika 26. Prikaz kretanja S/R dizalice u dvostrukom ciklusu

Kao što vidimo na slici, kod dvostrukog ciklusa dizalica mora obaviti jednu operaciju više, te pritom izvodi kretanje od jedne skladišne lokacije prema drugoj.

Proračun trajanja dvostrukog ciklusa

$$t_{dc} = E(SC) + E(TB) + 4 \cdot t_k \quad (3)$$

$$E(TB) = (1/3 + Q^2/6 - Q^3/30) \cdot T$$

Trajanje dvostrukog ciklusa:

$$t_{dc} = (1 + 1 + Q^2/3 + Q^2/6 + Q^3/30) \cdot T + 4 \cdot t_k$$

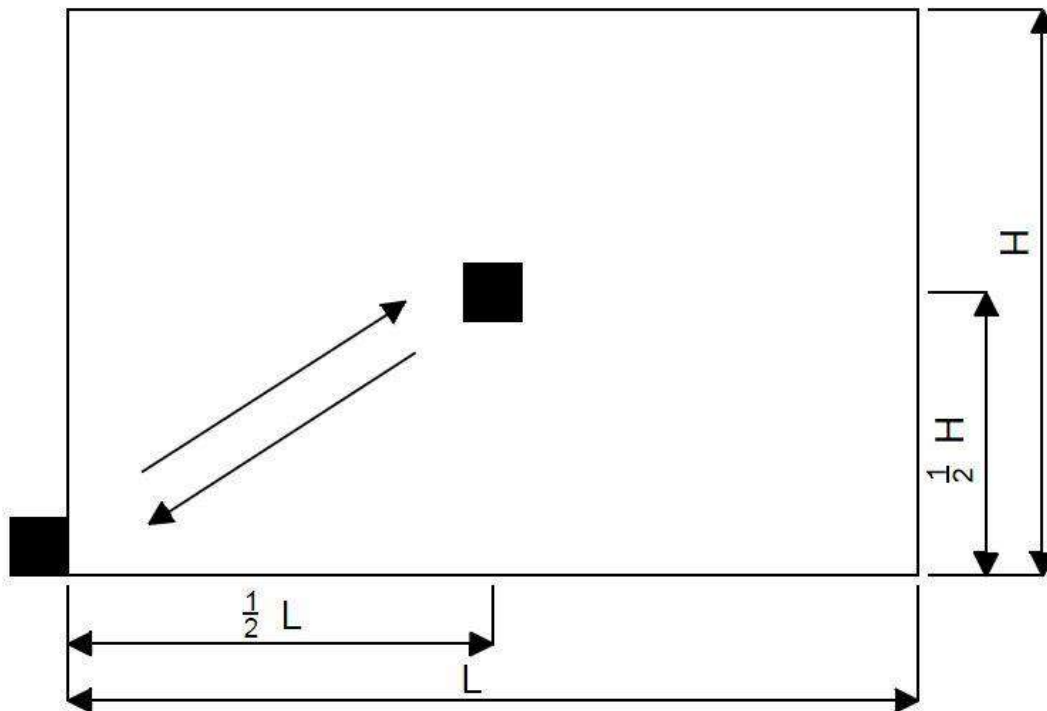
#### **4.3. Modeli računanja radnog ciklusa AS/RS dizalice**

Vrijeme operacije, bilo to uskladištenje ili izuzimanje, te trajanje radnog ciklusa ovisi o mjestu skladišne lokacije. Prilikom računanja prosječnog vremena kod vožnje dizalice u nekom regalu razvijeno je nekoliko modela.

- MHI model
- FEM model
- Bozer – White model

##### **4.3.1. Model MHI**

Jednostavni model za izračunavanje radnog ciklusa automatiziranog visokoregalnog skladišta razvit od organizacije MHIA. Ovaj model koristi se za izračunavanje jednostavnog i složenog ciklusa kod dizalice s jednostrukom prihvatnom stanicom. Najtočniji rezultati dobiveni MHI modelom su kad je omjer dužine i visine regala jednak omjeru horizontalne i vertikalne brzine dizalice. Pretpostavke za ovaj model su da je regal pravokutnog oblika, a U/I stanica se nalazi u donjem lijevom kutu regala, da su poznate duljina i visina regala, te vertikalna i horizontalna brzina dizalice, da se prva lokacija za skladištenje ili izuzimanje nalazi u sredini regala, odnosno na polovici dužine i visine, da dizalica obavlja jednostruki ili dvostruki ciklus, te da se druga lokacija za izuzimanje ili skladištenje nalazi na 3/4 duljine i 3/4 visine regala.

**Jednostruka prihvatna stanica s jednostrukim ciklusom**

Slika 27. Metoda izračunavanja jednostrukog radnog ciklusa MHI modelom

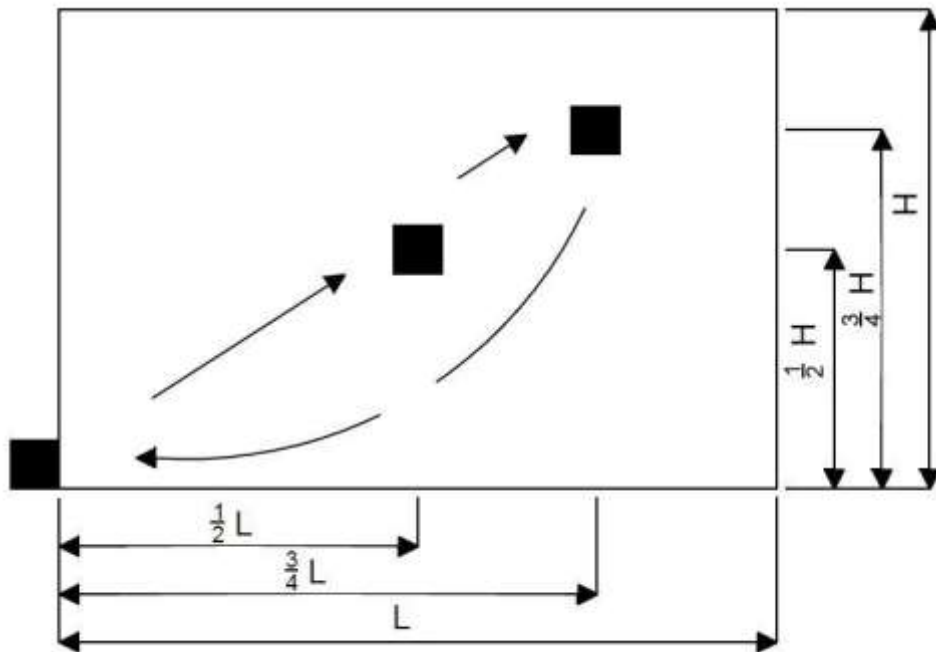
Računamo vrijeme vožnje do lokacije za skladištenje tereta na polovici dužine i polovici visine regala

$$1. \quad t_{v01} = \max ( L/2 : v_x, H/2 : v_y ) \quad (4)$$

Nakon toga računamo ukupno vrijeme jednostavnog radnog ciklusa koje se dobije sumom svih dobivenih vremena i vremenima za utovar i istovar tereta

$$2. \quad t_{jc} = 2t_{v01} + 2t_k \quad (5)$$



**Jednostruka prihvatna stanica s dvostrukim ciklusom**

Slika 28. Metoda izračunavanja dvostrukog radnog ciklusa MHI modelom

Prvo računamo vrijeme vožnje do lokacije za skladištenje tereta na polovici dužine i polovici visine regala po jednadžbi 1. Nakon toga računamo vrijeme vožnje do prethodne lokacije za skladištenje tereta do iduće lokacije za izuzimanje tereta koja je na  $\frac{3}{4}$  dužine i  $\frac{3}{4}$  visine regala.

$$3. \quad t_{v12} = \max ( L/4 : v_x , H/4 : v_y )$$

Formula za izračun vremena povratka od lokacije izuzimanja tereta do U/I stanice.

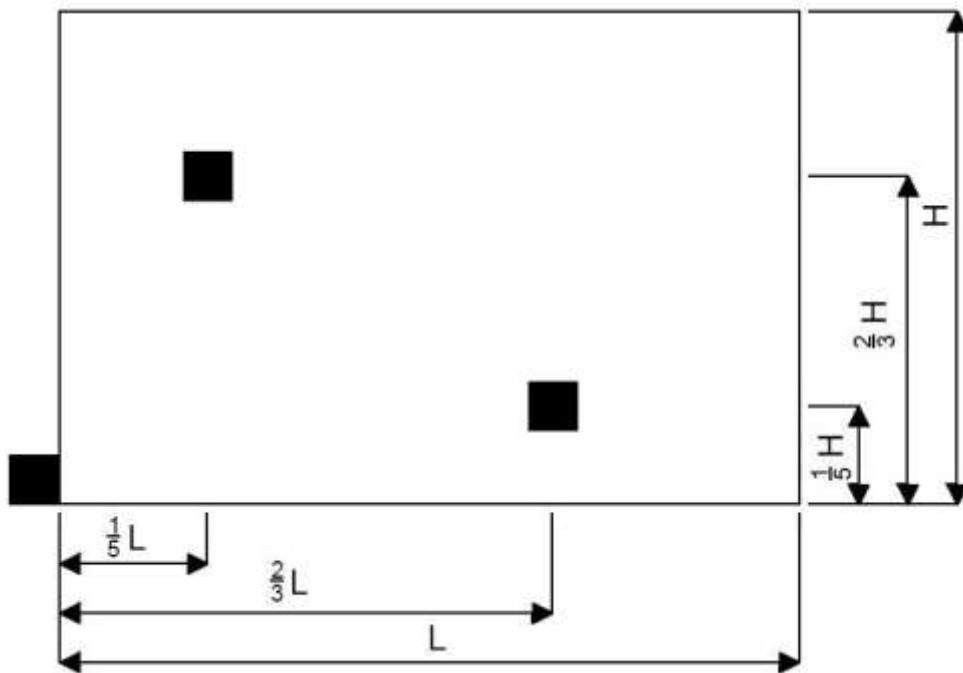
$$1. \quad t_{v20} = \max ( 3L/4 : v_x , 3H/4 : v_y )$$

Želimo li dobiti ukupno vrijeme složenog ciklusa moramo zbrojiti jednadžbe 1,3 i 4, te na kraju dodati još vrijeme utovara i istovara tereta.

$$t_{dc} = t_{v01} + t_{v12} + t_{v20} + 4t_k$$

#### 4.3.2. Model FEM 9.851

FEM 9.851 je također jednostavni model za računanje radnih ciklusa kojeg je razvila Europska Federacija za rukovanje materijalom. Ovaj model koristi se za izračunavanje jednostavnog i složenog ciklusa s jednostrukom prihvatnom stanicom. Rezultati dobiveni modelom FEM 9.851 koriste se kao referentna točka za ocjenu performanse dizalice i korisni su u preliminarnom projektiranju sustava. Kod ovog modela regal je pravokutnog oblika, a U/I stanica se nalazi u donjem lijevom kutu regala, dizalica obavlja jednostruki ili dvostruki ciklus, poznate se duljina i širina regala, te vertikalna i horizontalna brzina dizalice, prva se lokacija za skladištenje ili izuzimanje nalazi na  $1/5$  duljine i  $2/3$  visine regala, dok se druga lokacija za skladištenje ili izuzimanje nalazi na  $2/3$  duljine i  $1/5$  visine regala.



Slika 29. Model FEM 9.851

#### Jednostruka prihvatna stanica s jednostrukim ciklusom

Vrijeme vožnje do lokacije za skladištenje tereta računa se na  $1/5$  dužine i  $2/3$  visine regala.

$$2. \quad t_{v01} = \max ( L/5 : v_x, 2H/3 : v_y )$$

Također se računa vrijeme vožnje do lokacije za sladištenje tereta na  $2/3$  dužine i  $1/5$  visine regala.

$$3. \quad t_{v20} = \max ( 2L/3 : v_x, H/5 : v_y )$$

Vremena ciklusa za dobivena vremena vožnje iz jednadžbi 5 i 6.

$$t_{c01} = 2t_{v01} + 2t_k$$

$$t_{c20} = 2t_{v20} + 2t_k$$

Prosječno vrijeme trajanja jednostavnog ciklusa za dobivena vremena ciklusa  $t_{c01}$  i  $t_{c20}$

### Jednostruka prihvatna stanica s dvostrukim ciklusom

Ovdje računamo vrijeme vožnje do lokacija za skladištenje tereta na  $1/5$  dužine i  $2/3$  visine regala i druga na  $2/3$  dužine i  $1/5$  visine regala po jednadžbama 5 i 6.

Računa se vrijeme vožnje između dviju lokacija.

$$4. \quad t_{v12} = \max ( 14L/30 : V_x, 14H/30 : V_y )$$

Ukupno vrijeme složenog ciklusa dobijemo sumom iz dobivenih vremena jednadžbi 5, 6 i 7, te na kraju dodajemo još vrijeme potrebno za utovar i istovar.

$$t_{dc} = t_{v01} + t_{v20} + t_{v12} + 4t_k \quad (6)$$

### 4.3.3. Model Bozer/White

Model kojeg su razvili Yavuz A. Bozer i John A. White a koristi za izračun vremena radnog ciklusa automatiziranog visokoregalnog skladišta. Kod ovog modela dizalica obavlja jednostruki ili dvostruki ciklus, regal je pravokutnog oblika, a U/I stanica je u donjem lijevom kutu, poznate su duljina i visina regala te vertikalna i horizontalna brzina dizalice. Dizalica putuje simultano u vertikalnom i horizontalnom smjeru, dok se u izračunu koriste konstantne horizontalne i vertikalne brzine. Lokacija je slučajno odabrana, odnosno može se koristiti za skladištenje i izuzimanje.

Kod ovog modela uvode se varijable  $t_h$  i  $t_v$  koje predstavljaju vrijeme potrebno da dizalica dođe od U/I stanica koje se nalaze u donjem lijevom kutu, do najudaljenije horizontalne i vertikalne varijable. Između tih dviju varijabli bira se ona s najvećom vrijednošću i postaje  $T$ .

$$T = \max( L/V_x, H/V_y )$$

Uvodimo i varijablu  $b$  koja mora biti veća od 0, a manja od 1.

$$b = \min( L/v_x * T, H/v_y * T )$$

### **Jednostruka prihvatna stanica s jednostrukim ciklusom**

Osnovna formula:

$$t_{jc} = ( 1 + b^2/3 ) * T + 2 * t_k \quad (7)$$

Vrijeme vožnje dizalice:

$$t_v = 2 * E(t_{x,y})$$

Suma vremena vožnje dizalice te utovara i istovara:

$$t_{jc} = t_v + 2 * t_k$$

### **Jednostruka prihvatna stanica s dvostrukim ciklusom**

Formula za složeni ciklus:

$$t_{sc} = 1/30 (40 + 15 * b^2 - b^3) * T + 4 * t_k \quad (8)$$

Vrijeme vožnje dizalice:

$$t_v = 2 * E(t_{x,y})$$

Vrijeme izmjene među lokacijama:

$$t_{izm} = 1/30 (10 + 5 * b^2 + b^3) * T$$

Suma vremena vožnje, izmjene među lokacijama i vremena utovara, te istovara:

$$t_{dc} = t_v + t_{izm} + 4 * t_k$$

## 5. Softverski paket ExASRS v2.0

ExASRS v2.0 je softverski alat koji je izrađen u programskom paketu MS Office Excel. Alat je namijenjen određivanju broja prolaza i veličine regala kod projektiranja automatiziranih visokoregalnih skladišta. Pomoću njega određuju se dimenzije regala koje su prilagođene zadanim skladišnim kapacitetom i zahtjevom za propusnost sustava tj. br. Skladištenja i izuzimanja. Također, alat određuje najmanji mogući broj prolaza, računa prosječno vrijeme u sekundama, te prosječnu propusnost u satima za određeno skladište koristeći NN „najbližeg susjeda“ i FCFS „prvi ulazi –prvi izlazi“ pravilo skladištenja i izuzimanja pritom koristeći njihove modifikacije. Alat računa i vremena ciklusa za jednostruke i višestruke prihvatne stanice na dizalici ovisno koji su parametri zadani.[4]

FCFS pravilo – „prvi ulazi, prvi izlazi“ – je pravilo koje funkcionira tako da se teret skladiština istu lokaciju iz koje izuzima teret pa da se pritom eliminira dio puta između lokacija.

NN pravilo – „pravilo najbližeg susjeda“ – odabire se iduća najbliža lokacija.

Prije nego počnemo računati s ovim alatom pretpostavimo da je:

- stanica za ulaz i izlaz smještena na početku svakog prolaza na najnižoj točki sustava
- da se skladišne lokacije biraju nasumično
- da je poznato vrijeme skladištenja i izuzimanja robe
- da dizalica izvršava jednostruki ili dvostruki ciklus
- da dizalica putuje simultano u horizontalnom i vertikalnom smjeru
- da je poznat postotak dvostrukog ciklusa
- da su poznata horizontalna i vertikalna ubrzanja i smanjenja brzine
- program koristi standardni Engleski sustav mjernih jedinica uključujući stope (feet) i inče (inch)

**Algoritam, koji se provodi u koracima.**

Korak 1. broj prolaza = 1

Korak 2. Odredi veličinu regala tj. redova i stupaca da se zadovolji maksimalni kapacitet

broj lokacija po regalu = maksimalni kapacitet / 2 \* (broj prolaza)

Međutim, ako imamo zadanu visinu regala:

broj redova = zadana visina redova

broj stupaca = broj stupaca po regalu / broj redova

Korak 3. Odredi prosječno vrijeme po zahtjevu prema pravilu FCFS za korak 2.

Korak 4. Ako je prosječno vrijeme po zahtjevu prema pravilu FCFS > od zadanog vremena ciklusa tada je broj prolaza = broj prolaza + 1. *Zatim se vraćamo na korak 2.* U Protivnom završi.

Ovaj alat u svakom koraku procjenjuje zadovoljava li odabrani broj prolaza zahtjev za zadani ukupni kapacitet i oblik regala (SIT ili zadana visina) dok nije zadana propusnost sustava. Alat ravnomjerno dijeli broj skladišnih lokacija među prolazima i određuje najmanju veličinu prolaza koja zadovoljava određeni protok.

### 5.1. Unos parametra

Želimo li stvoriti novi projekt kod otvaranja glavnog lista „ASRS Design & Analysis“ treba unijeti neke paremetre, a to su:

**Enter the following Information**

	Parameter	Value	
1	Number of Storage/Retrieval Shuttles		?
2	Number of Storage requests per hr		?
3	Number of Retrieval requests per hr		?
4	Maximum Storage Volume (units)		?
5	Storage Cell Height with clearances (ft)	Calculator	?
6	Storage Cell Width with clearances (ft)		
7	S/R Machine Horizontal Velocity (ft/min)		?
8	S/R Machine Vertical Velocity (ft/min)		
9	S/R Machine Horizontal accel/decel (ft/sec <sup>2</sup> )		
10	S/R Machine Vertical accel/decel (ft/sec <sup>2</sup> )		
11	Pickup Time (sec)		?
12	Deposit Time (sec)		
13	% Dual Command Ops		?
14	Maximum Allowable Utilization (%)		?
15	Rack Shape	Square-In-Time(1)	?
16	Rack Type	Single Deep (1)	?

Reset

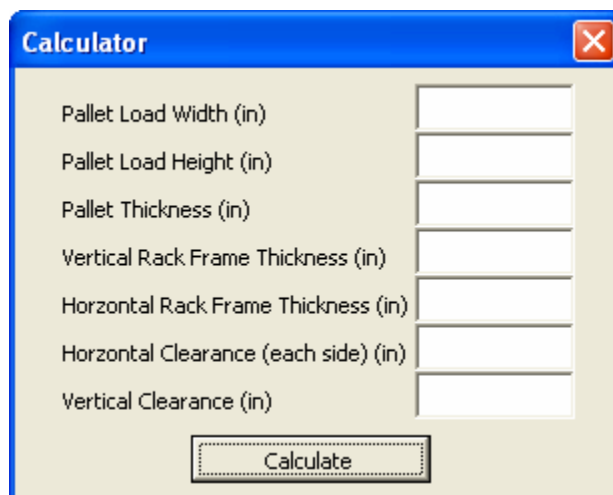
Solve

Sensitivity Analysis

Slika 30. Unos parametra

- Broj prihvatnih stanica na dizalici (eng. Number of Storage/Retrieval Shuttles)
  - tu možemo unijeti jedan broj od 1 do 3 za odabrani broj prihvatnih stanica
- Broj zahtjeva za izuzimanje po satu (eng. Number of Storage request per hr)
  - ovdje se unosi procijenjeni broj zahtjeva koje će dizalica obaviti u jednom satu.
- Broj zahtjeva za skladištenje po satu (eng. Number of Retrieval requests per hr)
  - također se nanosi procijenjeni broj zahtjeva koje će dizalica obaviti u jednom satu.
- Maksimalni kapacitet (eng. Maximum Storage Volume)
  - ovdje unosimo maksimalni procijenjeni broj tereta koje će visokoregalno skladište uskladištiti u bilo kojem trenutku.
- Visina ćelije (eng. Storage Cell Height with clearances)
  - visina skladišne lokacije s uključenim razmacima u stopama.
- Širina ćelije (eng. Storage Cell Width with clearances)
  - Širina skladišne lokacije s uključenim razmacima u stopama

-Imamo dostupan i kalkulator za računanje visine i širine.



The image shows a software window titled "Calculator" with a standard Windows-style title bar (blue with a red close button). The window contains a list of seven input fields, each with a label and a corresponding text box. The labels are: "Pallet Load Width (in)", "Pallet Load Height (in)", "Pallet Thickness (in)", "Vertical Rack Frame Thickness (in)", "Horizontal Rack Frame Thickness (in)", "Horizontal Clearance (each side) (in)", and "Vertical Clearance (in)". Below these fields is a button labeled "Calculate".

Slika 31. Kalkulator

- Horizontalna brzina dizalice (eng. S/R Machine Horizontal Velocity)
  - Prikazuje najveću brzinu kojom dizalica putuje u horizontalnom smjeru.
- Vertikalna brzina dizalice (eng. S/R Machine Vertical Velocity)
  - Prikazuje najveću brzinu kojom dizalica putuje u vertikalnom smjeru.
- Horizontalno ubrzanje i usporenje dizalice (eng. S/R Machine Horizontal accel/decel)
  - Horizontalna promjena brzine dizalice
- Vertikalno ubrzanje i usporenje dizalice (eng. S/R Machine Vertical accel/decel)
  - Vertikalna promjena brzine dizalice
- Vrijeme izuzimanja (eng. Pickup Time)
  - Prikazuje vrijeme potrebno da dizalica izuzme teret s lokacije
- Vrijeme skladištenja (eng. Deposit Time)
  - Prikazuje vrijeme koje je potrebno da dizalica uskladišti teret na određenu lokaciju
- Postotak složenih operacija (eng. % Dual Command Ops)
  - Postotak vremena u kojem će dizalica uskladištiti ili izuzeti teret tijekom jednostavnog ciklusa.
- Maksimalni postotak korištenja (eng. Maximum Allowable Utilization)
  - Najveći postotak vremena u kojem će dizalica izvršavati operacije
- Oblik regala (eng. Rack Shape)
  - Padajući izbornik s dvije opcije:
    1. Square – in - time – izračunava dimenzije regala( visinu i dužinu) tako da vrijeme potrebno da dizalica dođe do najudaljenije horizontalne lokacije bude ujedno i vrijeme koje je potrebno da dođe do najudaljenije vertikalne lokacije.



2. Zadana visina – dopušta se korisniku da unese željenu visinu regala dok duljinu izračunava softver.
- Tip regala (eng. Rack Type) – padajući izbornik s dvije opcije
    1. Regal jedinične dubine – dakle, na jednu lokaciju u regalu može se uskladištiti jedan teret
    2. Regal dvostruke dubine – znači, na jednu lokaciju u regalu mogu se uskladištiti dva tereta.

U ovom softverskom paketu postoje i tzv. Dugmadi, a to su: „Očisti“, „Riješi“, „Analiza osjetljivosti“, i „Upitnici“.

### Enter the following Information

	Parameter	Value	
1	Number of Storage/Retrieval Shuttles		?
2	Number of Storage requests per hr		?
3	Number of Retrieval requests per hr		?
4	Maximum Storage Volume (units)		?
5	Storage Cell Height with clearances (ft)	Calculator	?
6	Storage Cell Width with clearances (ft)		?
7	S/R Machine Horizontal Velocity (ft/min)		?
8	S/R Machine Vertical Velocity (ft/min)		?
9	S/R Machine Horizontal accel/decel (ft/sec <sup>2</sup> )		?
10	S/R Machine Vertical accel/decel (ft/sec <sup>2</sup> )		?
11	Pickup Time (sec)		?
12	Deposit Time (sec)		?
13	% Dual Command Ops		?
14	Maximum Allowable Utilization (%)		?
15	Rack Shape	Square-In-Time(1) ▼	?
16	Rack Type	Single Deep (1) ▼	?
Reset		Solve	Sensitivity Analysis

Slika: 32. „Dugmadi“

1. Očisti (eng. Reset) – ako kliknemo na ovaj gumb obrisat će se svi podaci na radnim listovima „ASRS Design & Analysis“, „Sensitivity Analysis Summary“ i „Results History“

2. Rješi (eng. Solve) – kad se unesu svi parametri u radni list „ASRS Design & Analysis“ klikom na ovo dugme uključit će se naredbe za rješavanje i određivanje optimalnog rješenja.
3. Analiza osjetljivosti (eng. Sensitivity Analysis) – Ima ih 5:
  - za uspoređivanje broja prolaza
  - za troškove
  - zahtjeve za propusnost
  - analiza kapaciteta
  - postotak složenih ciklus
4. Upitnici – klikom na tu dugmad otvara se novi prozor s objašnjenjem pojedinog parametra.

**5.2. Izlazni parametri (rezultati)** – Nude se dvije vrste rezultata. To su: osnovni rezultati koji prikazuju dimenzije regala i detaljni rezultati, koji prikazuju operative karakteristike povezane s predloženom konfiguracijom regala.

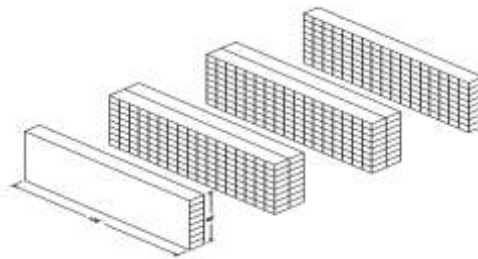
**5.2.1. Osnovni rezultati:** Cilj im je sažimanje fizičkog oblika automatiziranog visokoregalnog skladišnog sustava. U tablici vidimo informacije vezane za broj prolaza, duljinu i visinu regala, broj prolaza i broj redova.

**Rezultati:**

**Results ?**

Number of Aisles	3
Length of Rack (ft)	136.00
Height of Rack (ft)	48.00
Number of Columns per Rack	17
Number of Rows per Rack	8

Tablica 1. Prikaz osnovnih rezultata



Slika 33. Skica visokoregalnog automatiziranog skladišta

### 5.2.2 Detaljniji rezultati

Druga vrsta dobivenih rezultata su: detaljniji rezultati. Tu su prikazane informacije vezane uz operativne karakteristike sustava poput prosječnog ciklusa ili propusnosti

Rezultati:

Display Result Details ☒

Storage openings per Aisle	272
Storage openings required per Aisle	266.67
Avg Time per request (sec)	30.28
Time Available per request (sec)	43.20
Avg Throughput (requests/hr)	285.36
Required Throughput (requests/hr)	200.00
Avg Time per request (sec) FCFS	30.28
Avg Time per request (sec) mod. FCFS	28.10
Avg Time per request (sec) Nearest Neighbor	26.83
Avg Time per request (sec) mod. Nearest Neighbor	25.60
Th (sec)	27.20
Tv (sec)	28.80
T (sec)	28.80
b	0.94
T(SC) (sec)	46.50
T(DC) (sec)	68.04
T(QC) (sec)	111.13
T(STC) (sec)	N/A

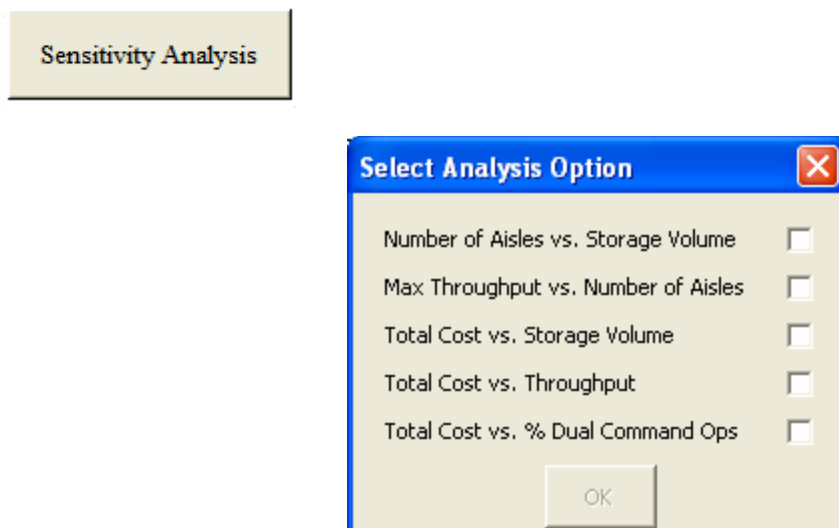
Tablica 2. Detaljni rezultati

Ova tablica sadrži:

- Br. skladišnih lokacija po prolazu za proračunati oblik regala
- Br. potrebnih skladišnih lokacija po prolazu koje se temelji na maksimalnom zadanom kapacitetu
- Prosječno vrijeme po zahtjevu (sec) za određeni oblik regala. Vrijeme se računa po pravilu FCFS skladištenja i izuzimanja.
- Dostupno vrijeme po zahtjevu (sec) temeljeno na zadanoj propusnosti sustava.
- Prosječna propusnost za određeni oblik regala( u satima).
- Prosječna propusnost zadana od korisnika( u satima).
- Prosječno vrijeme po zahtjevu s FCFS pravilom u sekundama.
- Prosječno vrijeme po zahtjevu u sekundama koristeći modificirano FCFS pravilo.
- Prosječno vrijeme po zahtjevu u sekundama koristeći NN pravilo.
- Prosječno vrijeme po zahtjevu u sekundama koristeći modificirano NN pravilo.
- $T_h$ , horizontalno vrijeme putovanja u sekundama potrebno da dizalica dođe od U/I mjesta do posljednje kolone bez usporenja i ubrzanja
- $T_v$ , vertikalno vrijeme putovanja u sekundama potrebno da dizalica dođe od U/I mjesta do posljednjeg reda bez usporenja i ubrzanja.
- $T = \max(T_h, T_v)$  faktor oblika regala u vremenu u sekundama.
- $b = \min(T_h/T, T_v/T)$ , faktor oblika regala.
- Očekivano vrijeme putovanja u sekundama za jednostruki ciklus,  $t_{jc}$
- Očekivano vrijeme putovanja u sekundama za dvostruki ciklus,  $t_{dc}$ .
- Očekivano vrijeme putovanja u sekundama za četverostruki ciklus,  $t_{qc}$ . Četverostruki ciklus može se izračunati samo za sustave s više od dvije prihvatne stanice.
- Očekivano vrijeme putovanja u sekundama za šesterostruki ciklus,  $t_{xc}$ . Šesterostruki ciklus može se također izračunati za sustave s više od tri prihvatne stanice.

## Analiza osjetljivosti

Postoji pet različitih analiza osjetljivosti. Njih je moguće izvesti nakon obrade zadanih parametara klikom na gumb „Sensitivity“ Analysis“. Nakon toga otvara se meni gdje je potrebno odabrati željene analize.



Slika 34. Analiza osjetljivosti

1. Broj prolaza u odnosu na skladišni kapacitet ( eng. Number of Aisles vs. Storage Volume)

S tom analizom želimo pokazati promjene u sustavu u smislu potrebnog broja prolaza za određeni raspon kapaciteta. Sistem se oblikuje unosom minimalnog i maksimalnog skladišnog kapaciteta. Analiza je vrlo korisna pri određivanju prijelomnih točaka kod kojih potrebno da sustavu dodajemo dodatne prolaze.

2. Maksimalna propusnost u odnosu na broj prolaza (eng. Max. Throughput vs. Number of Aisles)

Odnos između propusnosti sustava i broja prolaza može se vidjeti unosom minimalnog i maksimalnog željenog prolaza. Na tablici i na grafu ispisuje se propusnost koju je moguće ostvariti za naznačen broj prolaza, a raspon se temelji na očekivanoj vrijednosti izračunatoj u osnovnoj analizi.

3. Ukupni troškovi u odnosu na skladišni kapacitet (eng. Total Cost vs. Storage Volume)

Ta analiza pokazuje kako se mijenjaju ukupni troškovi sustava promjenom skladišnog kapaciteta. Unosom cijene dizalice i skladišne lokacije, te raspona skladišnog kapaciteta vidi se na koji način troškovi variraju povećanjem kapaciteta, odnosno u kojem trenutku i kod kojih parametara je potrebno dodati još jedan prolaz, odnosno dizalicu.

4. Ukupni troškovi u odnosu na propusnost sustava. (eng. Total Cost vs. Throughput)

Unosimo cijenu dizalice i skladišne lokacije i razmatramo raspon propusnosti sustava. Ova analiza pokazuje koliko se mijenjaju troškovi povećanjem zadane propusnosti sustava. Vidimo i pri kojim parametrima je potrebno dodati još jedan prolaz, odnosno dizalicu.

5. Ukupni troškovi u odnosu na postotak dvostrukih ciklusa. (eng. Total Cost vs % Dual Command Ops)

Unosimo cijenu dizalice i skladišne lokacije, te promatramo minimalni, te maksimalni postotak dvostrukog ciklusa. S time vidimo koliko variraju ukupni troškovi sustava u odnosu na postotak dvostrukog ciklusa koji skladišni sustav može obaviti. Između ostalog, proračunata je propusnost za pojedini postotak, odnosno je li potrebno u bilo kojem trenutku povećati broj prolaza.

Nakon odabira pojavljuje se novi prozor s mjestima za unos raspona za parametre izabrane analize. Unosimo cijenu dizalice i skladišne lokacije, raspon skladišnog kapaciteta, broj prolaza, propusnost ili postotak dvostrukih ciklusa. Za primjer prikazana je analiza „Ukupni troškovi u odnosu na propusnost sustava.

**Enter Range**

Minimum Storage Volume

Maximum Storage Volume

Minimum Number of Aisles

Maximum Number of Aisles

Minimum Throughput (#req/hr)

Maximum Throughput (#req/hr)

Minimum % Dual Command Ops

Maximum % Dual Command Ops

Cost of a single SR Machine

Cost of a storage cell location

OK

Slika 35. Raspon propusnosti, te cijene dizalice i skladišne lokacije

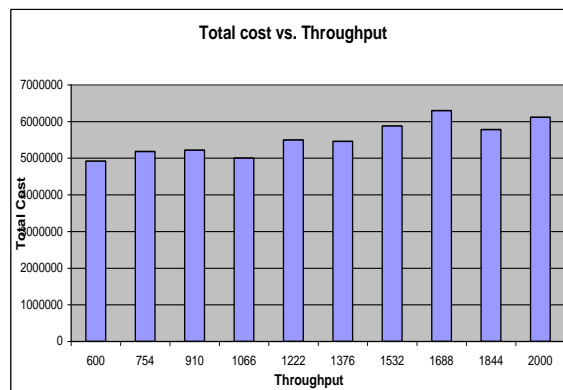
Nakon unosa paramtera, analiza osjetljivosti će prikazati raspon rezultata u tablici i u grafu, na desnoj strani „ASRS Design & Analysis“.

Enter the following Information

Parameter	Value
1 Number of Storage/Retrieval Shuttles	2
2 Number of Storage requests per hr	90
3 Number of Retrieval requests per hr	110
4 Maximum Storage Volume (units)	800
5 Storage Cell Height with clearances (ft)	6
6 Storage Cell Width with clearances (ft)	8
7 S/R Machine Horizontal Velocity (ft/min)	300
8 S/R Machine Vertical Velocity (ft/min)	100
9 S/R Machine Horizontal accel/decel (ft/sec <sup>2</sup> )	3
10 S/R Machine Vertical accel/decel (ft/sec <sup>2</sup> )	1
11 Pickup Time (sec)	3
12 Deposit Time (sec)	4
13 % Dual Command Ops	60.00%
14 Maximum Allowable Utilization (%)	80.00%
15 Rack Shape	Fixed Height (2)
15a Height (ft)	48
16 Rack Type	Single Deep (1)

Results

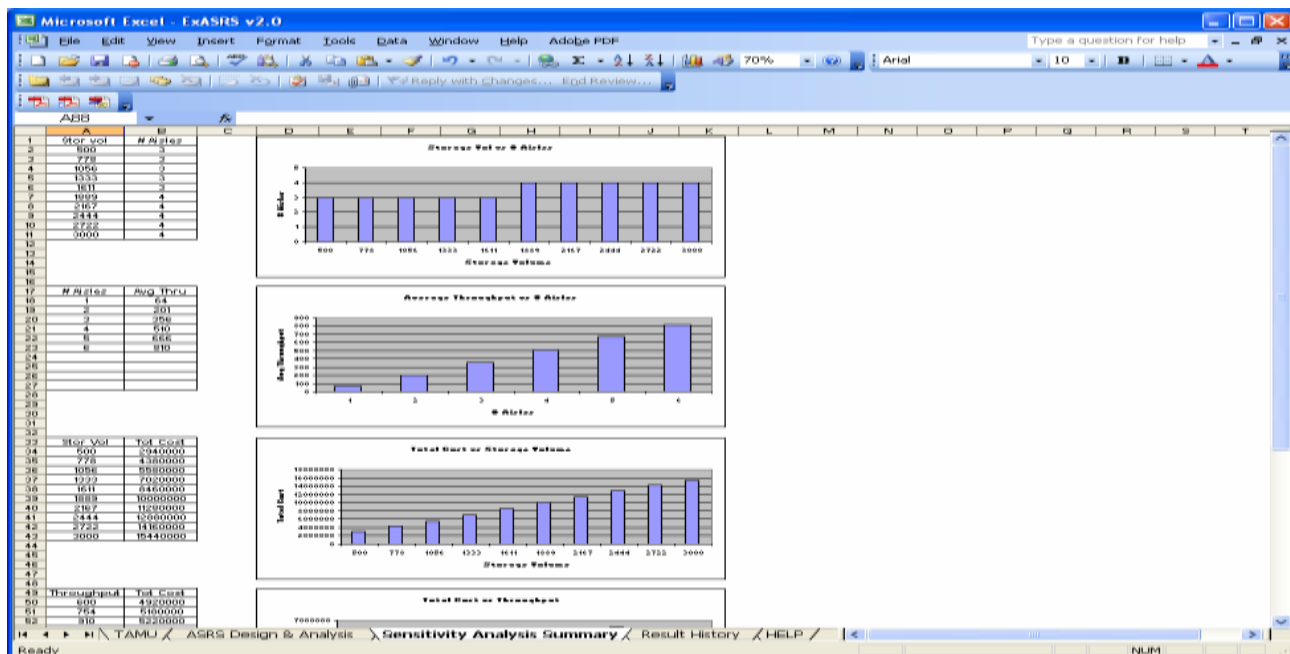
Number of Aisles	3
Length of Rack (ft)	136.00
Height of Rack (ft)	48.00
Number of Columns per Rack	17
Number of Rows per Rack	8

Display Result Details ☒

Thruput	Tot Cost	# Aisles
600	4920000	6
754	5180000	7
910	5220000	9
1066	5000000	10
1222	5500000	11
1376	5460000	13
1532	5880000	14
1688	6300000	15
1844	5780000	17
2000	6120000	18

Slika 36. Analiza osjetljivosti „ASRS Design &amp; Analysis“

Sve analize osjetljivosti automatski se snimaju na list „Sensitivity Analysis Summary“, a izbrisati ih možemo klikom na „Reset“.



Slika. 37. Sve analize osjetljivosti „Sensitivity Analysis Summary“

### 5.3. Povijest rezultata

To je posljednji list u dokumentu (eng. Results History). Uvijek kada kliknemo na gumb „Riješi“ na listu „ASRS Design & Analysis“, svi ulazni i izlazni parametri se automatski snimaju na ovaj list. Ovo je svojstvo dostupno kako korisnik mogalo usporediti rješenja za različite parametre.



	A	B	C	D	E
1	Total Saved Results :	4			
2	Result #:	1	2	3	4
3	Number of Storage/Retrieval Shuttles	2	2	2	2
4	Number of Storage requests per hr	60	60	60	60
5	Number of Retrieval requests per hr	80	80	80	80
6	Maximum Storage Volume (units)	2000	2000	2000	2000
7	Storage Cell Height with clearances (ft)	4	4	4	4
8	Storage Cell Width with clearances (ft)	8	8	8	8
9	S/R Machine Horizontal Velocity (ft/min)	300	300	300	300
10	S/R Machine Vertical Velocity (ft/min)	100	100	100	100
11	S/R Machine Horizontal accel/decel (ft/sec <sup>2</sup> )	1	1	100	1
12	S/R Machine Vertical accel/decel (ft/sec <sup>2</sup> )	1	1	100	1
13	Pickup Time (sec)	3	3	3	3
14	Deposit Time (sec)	4	4	4	4
15	% Dual Command Ops	0.6	0.6	0.6	0.6
16	Maximum Allowable Utilization (%)	0.8	0.8	0.8	0.8
17	Square-In-Time Racks (1)/Fixed Height Racks(2)	1	1	1	1
18	Height (ft)				
19	Single Deep Racks(1) / Double Deep Racks(2)	1	1	1	1
20	Honey Combing Loss (%)				
21					
22					
23					
24	<b>Results</b>				
25	Number of Aisles	3	3	3	3
26	Length of Rack	184	184	184	184
27	Height of Rack	60	60	60	60
28	Number of Columns per Rack	23	23	23	23
29	Number of Rows per Rack	15	15	15	15
30					
31	<b>Result Details</b>				
32	Storage openings per Aisle	690	690	690	690
33	Storage openings required per Aisle	666.67	666.67	666.67	666.67
34	Avg Time per request (sec)	3R 71	3R 71	3R 06	3R 71

Tablica 3. Tablica rezultata

Ako bi korisnik želio unijeti neki od prethodnih parametara, mora kliknuti na gumb „Retrieve Dana“ i unijeti željeni broj rezultata prikazan u drugom redu. Tako se svi ulazni i izlazni parametri vraćaju na list „ASRS Design & Analysis“.

Ako prilikom otvaranja programa kliknete „Da“ na pitanje želite li izbrisati sve stare podatke (eng. Delete old dana?) kliknete na gumb „Očisti“ (eng. Reset) na glavnom listu, povijest rezultata će se obrisati.

## 6. Ilustracija softvera za, uz softverski paket priloženi primjer (case study)

### 6.1. Opis

LL. Bean, Inc. djeluje kao distribucijski centar u Freeportu, Maine. Zbog velikih troškova, potrebe za prostorom i učinkovitijim praćenjem LL.Bean razmatra prelazak na automatizirani sustav. U ovom case studiju prikazat ćemo vam kako koristiti softver ExASRS v.2.0 u obavljanju zadanih ciljeva.



Slika. 38. LDC LL.Bean

Kroz ovaj distribucijski centar stiže godišnje oko 12 milijuna naloga, što rezultira s zaradom od 1.5 milijarde dolara u jednoj godini. LL. Bean pruža vrhunsku uslugu, te je poznat u robnoj industriji. Stalno su korak ispred konkurencije i LL. Bean želi održavati svoju profitabilnu liniju proizvoda na visokoj kvaliteti s dobro projektiranim distribucijskim centrima.

Dakle, kao što smo prije rekli, LL. Bean želi nadograditi, te uvesti automatizirani sustav u distribucijski centar zbog tri razloga: prostor, troškovi rada, te učinkovitije praćenje. Zbog ogromnog rasta prodaje u proteklih 20 godina ponestaje im prostora u distribucijskom centru. Primjenom automatiziranog sustava očekuje se godišnji rast od 3%, dok što se tiče učinkovitijeg praćenja trebalo bi doći do smanjenja od 5% potrebnog vremena.

### Automatizirano skladište

Pretpostavlja se da je propusnost skladišta 11.200 paleta na dan (tj. 467 paleta po satu). Tijekom 24. satnog radnog vremena obavi se oko 233.5 izuzimanja i uskladištenja na sat. Kapacitet skladišta je 25 000 paleta. Visina i širina ćelije iznose 6 ft. Horizontalna brzina dizalice je 500 ft/min, a vertikalna 150 ft/min. Vertikalno ubrzanje tj. usporenje iznosi  $2 \text{ ft/sec}^2$ , a vrijeme izuzimanja tj. skladištenja 4 ft/sec. Postotak složenih operacija je 75% dok je maksimalni postotak korištenja 85. Visina regala iznosi 80 metara. Regal je jedinične dubine. Najnoviji S/R strojevi su u mogućnosti postići brzinu od 500 FPM i 150 FPM horizontalno i vertikalno odnosno s ubrzavanjem i usporavanjem sa stopama od 2ft/sec i 2ft horizontalno i vertikalno. Paleta se pokupi u svega 4sec. Pretpostavlja se da se oko 75% svih operacija može obavljati dvostruko.

### 6.2. Rješenje korištenjem ExASRS 2.0

U tablici su navedeni ulazni parametri:

#### Enter the following Information

	Parameter	Value
1	Number of Storage/Retrieval Shuttles	
2	Number of Storage requests per hr	233.5
3	Number of Retrieval requests per hr	233.5
4	Maximum Storage Volume (units)	25000
5	Storage Cell Height with clearances (ft)	6
6	Storage Cell Width with clearances (ft)	6
7	S/R Machine Horizontal Velocity (ft/min)	500
8	S/R Machine Vertical Velocity (ft/min)	150
9	S/R Machine Horizontal accel/decel ( $\text{ft/sec}^2$ )	2
10	S/R Machine Vertical accel/decel ( $\text{ft/sec}^2$ )	2
11	Pickup Time (sec)	4
12	Deposit Time (sec)	4
13	% Dual Command Ops	75.00%
14	Maximum Allowable Utilization (%)	85.00%
15	Rack Shape	Fixed Height (2) ▼
15a	Height (ft)	80
16	Rack Type	Single Deep (1) ▼

Slika 39. Unos parametra ( Case study)

# Shuttles	Rack Type	# Aisles	Rack Length (ft)	Rack Height (ft)	# Storage Locations per Aisle	Avg. Time per Request (sec)
1	single	11	528	78	2288	63.92
1	double*	9	462	78	2803	58.38
2	single	9	642	78	2782	56.23
2	double*	8	516	78	3130	48.48
3	single	9	642	78	2782	50.41
3	double*	8	516	78	3130	43.68

Tablica 4. Podaci po regalima

# Shuttles	Rack Type	# Aisles	# Storage Locations per Aisle	Avg. Time per Request (sec)	Equipment Cost
1	single	11	2288	63.92	\$5,200,800
1	double*	9	2803	58.38	\$4,370,825
2	single	9	2782	56.23	\$5,023,700
2	double*	8	3130	48.48	\$4,460,750
3	single	9	2782	50.41	\$5,473,700
3	double*	8	3130	43.68	\$4,860,750

Tablica 5. Odnos troškova, vremena i broja mjesta

U tablici jasno vidimo da dolazi do većih troškova kod regala jedinične dubine. Također prosječno vrijeme veće je kod regala jedinične dužine, dok je broj mjesta po prolazu veći kod regala dvostruke dubine.

Ova analiza ASRS V2.0 omogućuje menadžerima da usporede nekoliko ASRS dizajna u smislu broja prolaza, dimenzija regala, prosječnog prometa, te troškova.

## 7. Analiza razlike između pojedinih modela radnih ciklusa

U ovom djelu završnog rada prikazat ćemo izračun radnih ciklusa dizalice automatiziranog visokoregalnog skladišta. Usporedit ćemo jednostavni i složeni ciklus. Usporedit ćemo 4 skladišta koji imaju različiti kapacitet i oblik. Sve će se prikazati u SI sustavu mjera. Podaci o analiziranim skladištima dani su u tablici 6.

	Kapacitet(Q)	Duljina(L)	Visina(H)	Faktor oblika (b)
Skladište 1	200	12.5	8	0.195
Skladište 2	450	22.5	10	0.281
Skladište 3	1800	45	20	0.281
Skladište 4	4050	75	27	0.347

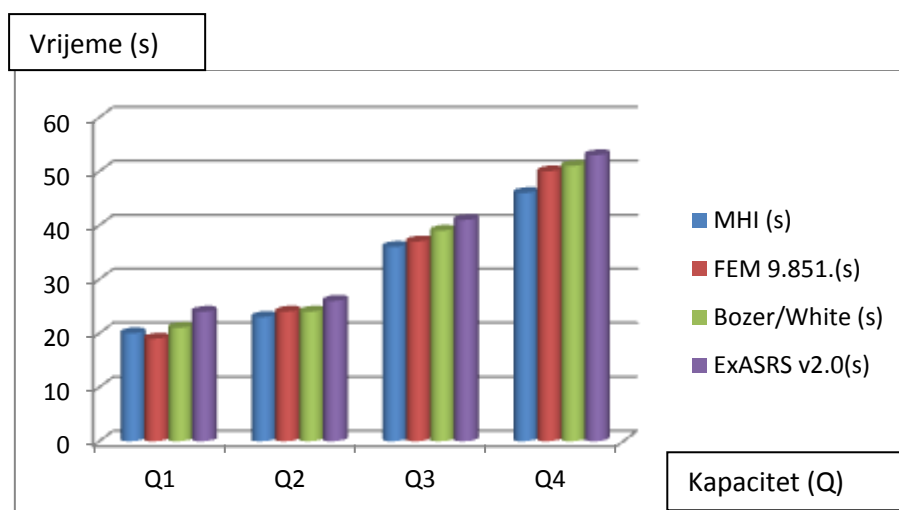
Tablica 6. Prikaz skladišnih kapaciteta i oblika u SI sustavu

Korištenjem modela prezentiranih u poglavlju 5, te softvera ExASRS v2.0 izračunata su za zadana skladišta vremena jednostrukog radnog ciklusa i prikazana u tablici 7.

		Skladište 1	Skladište 2	Skladište 3	Skladište 4
Duljina (m)	L	12.5	22.5	45	75
Visina (m)	H	8	10	20	27
Kapacitet	Q	200	450	1800	4050
Faktor oblika	b	0.195	0.281	0.281	0.347
MHI (s)	tjc	20.66	23.33	36.66	46.00
FEM 9.851 (s)	tjc	19.89	23.89	37.78	50.66
Bozer/white (s)	tjc	21.21	24.74	39.48	51.79
ExASRS v 2.0 (s)	tjc	24.01	26.96	41.41	53.42

Tablica 7. Prikaz rezultata za jednostruki radni ciklus

Analizom je utvrđeno da modeli MHI, FEM 9.851, te Bozer/White u jednostavnom radnom ciklusu daju slične rezultate, dok ExASRS V2.0 malo odskaka, međutim vidljivo je iz tablice da model MHI daje najlošije rezultate, odnosno predviđa najkraća vremena vožnje u svim slučajevima osim skladišta 1. Vremenske razlike smanjuju se povećanjem kapaciteta i dimenzija regala.



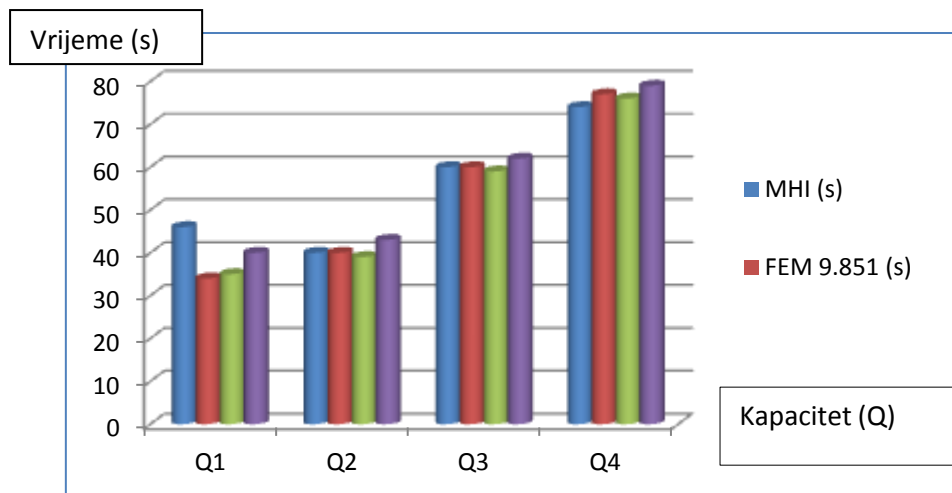
Graf 1. Grafički prikaz rezultata za jednostruki radni ciklus

Korištenjem modela prezentiranih u poglavlju 5, te softvera ExASRS v2.0 izračunati su za zadana skladišta i vremena dvostrukog radnog ciklusa i prikazana u tablici 8.

		Skladište 1	Skladište 2	Skladište 3	Skladište 4
Duljina (m)	L	12.5	22.5	45	75
Visina (m)	H	8	10	20	27
Kapacitet	Q	200	450	1800	4050
Faktor oblika	b	0.195	0.281	0.281	0.347
MHI (s)	tjc	46.00	40.00	60.00	74
FEM 9.851 (s)	tjc	34.87	40.11	60.22	77.46
Bozer/white (s)	tjc	35.01	39.81	59.62	76.29
ExASRS v 2.0 (s)	tjc	40,09	43.72	62.99	79,27

Tablica 8. Analiza rezultata z dvostruki radni ciklus

Iz tablice vidimo da su vremena koja su izračunata pomoću softverskog paketa ExASRS v2.0 u odnosu na ostala tri modela veća zbog dodatnog vremena da dizalica ostvari punu zadanu brzinu osim kod skladišta 1. gdje je najveće vrijeme dobivenom modelom MHI. Također vidljivo je da se vremenske razlike smanjuju povećanjem kapaciteta, isto kao i u slučaju jednostrukog radnog ciklusa.



Graf 2. Grafički prikaz rezultata za dvostruki radni ciklus

Analiza provedenih proračuna pokazuje nam da su veće razlike između modela radnog ciklusa bez promjene brzine i modela radnog ciklusa s promjenom brzine u regalima koji su manjih dimenzija. Takve razlike događaju se zbog vremena koje je potrebno da dizalica ostvari zadanu brzinu. Povećanjem dimenzija regala ta se razlika smanjuje jer dizalica većinu vremena radnog ciklusa vozi punom, odnosno zadanom brzinom.

## 8. Zaključak

Logistika kao djelatnost stavlja na sebe organizaciju skladištenja, dok ta organizacija postaje vrlo bitan i složen proces. Želi se postići da roba bude na pravom mjestu u pravo vrijeme uz minimalne troškove, s time da budu zadovoljeni svi zahtjevi kupca. Zbog sigurnosti naručene robe, točnosti, uštede prostora, vremena te povećanja produktivnosti rada uvode se automatizirani skladišni sustavi koji se koriste u proizvodnim pogonima, distribucijskim centrima, te veleprodajnim i maloprodajnim trgovinama.

U ovom radu navode se automatizirani skladišni sustavi kao rješenje čija je točnost i efikasnost na vrlo visokoj razini.

Da bi sustav zadovoljio zahtjeve za propusnost i dimenzije skladišta gdje se uzima u obzir ograničenje infrastrukture, potrebno je odrediti radne cikluse dizalica. Analizirali smo jednostavne i složene radne cikluse računajući vrijeme trajanja radnih ciklusa određenim modelima. (MHI, FEM 9.851, te Bozer/White), te dobili različite vremenske rezultate. Iz primjera je vidljivo da model MHI daje skoro u svim slučajevima predviđa najkraća vremena vožnje. Model FEM 9.851 daje nešto bolje rezultate, dok je model Bozer/White još bolji u odnosu na prethodne. Veće su razlike između modela radnog ciklusa bez promjene brzine i modela radnog ciklusa s promjenom brzine u regalima koji su manjih dimenzija, dok se povećanjem dimenzija regala ta razlika smanjuje. Vremenski najdulji ciklus dobili smo modelom ExASRS V2.0. U radu je objašnjena primjena softverskog paketa ExASRS v2.0 koji je namijenjen za određivanje broja prolaza i veličine regala pri projektiranju automatiziranih visokoregalnih skladišta, koje se mogu prilagoditi zadanim skladišnim kapacitetom i zahtjevom za propusnost sustava. Također softver izračunava a potom daje izvještaj o prosječnom vremenu po zahtjevu za određeno skladište.

U nekolicini slučajeva klasična skladišna rješenja više nisu u stanju biti konkurentna automatiziranim, kompjuteriziranim sustavima pa se sve više distribucijskih centara, proizvodnih pogona, maloprodajnih, te veleprodajnih trgovina okreće spomenutom sustavu.



## 9. Literatura

- (1) Đukić, G.: Predavanja iz kolegija „Tehnička i Gospodarska logistika 2“ i dopunska Literatura iz Tehničke i Gospodarske logistike, Sveučilište Sjever“
- (2) Zelenika R.: Logistički sustavi, Ekonomski fakultet Rijeka, 2005
- (3) <http://www.primatlogistika.hr/hr/proizvodi-i-sustavi/skladisni-sustavi>
- (4) <http://www.mhi.org>
- (5) <http://www.logomatika.hr/hr/>